

الأراضى والجودة البيئية

تأليف

جاري م. بيرزنسكى

ج. توماس سمس

جورج ف. فانسى

ترجمة وتقديم

محمد السيد النند

اهداءات ٢٠٠٤

المجلس الأعلى للثقافة
القاهرة

المشروع القومي للترجمة

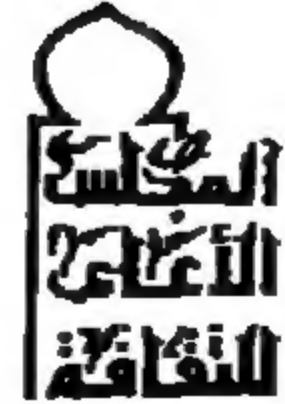
الأراضى والجودة البيئية

تأليف

جارى م. بيرزنسكى
ج. توماس سمس
جورج ف. فانس

ترجمة وتقديم

محمد السيد الننه



٢٠٠٣

المشروع القومي للترجمة

إشراف : جابر عصفور

– العدد : ٤٧٠

– الأراضى والجودة البيئية

– بيرزى و آخران

– محمد السيد التتة

– الطبعة الأولى ٢٠٠٢

الترجمة الكاملة لكتاب :

SOILS AND ENVIRONMENTAL QUALITY

تأليف : GARY M. PIERZYNSKI
J. THOMAS SIMS
GEORGE F. VANCE

الناشر : LEWIS PUBLISHERS,
Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo, 1994.

حقوق الترجمة والنشر بالعربية محفوظة المجلس الأعلى للثقافة

شارع الجبلية بالأوبرا - الجزيرة - القاهرة ت ٧٣٥٢٣٩٦ فاكس ٧٣٥٨٠٨٤

El Gabalaya St. Opera House, El Gezira, Cairo

Tel : 7352396 Fax : 7358084 E. Mail : asfour @ onebox. com

تهدف إصدارات المشروع القومي للترجمة إلى تقديم مختلف الاتجاهات والمذاهب الفكرية للقارئ العربي وتعريفه بها ، والأفكار التي تتضمنها هي اجتهادات أصحابها في ثقافتهم ولا تعبر بالضرورة عن رأى المجلس الأعلى للثقافة .

إهداء المترجم

إلى النور الذى أضاء حياتى
إلى من دفعتنى إلى هذا العمل
إلى زوجتى دكتورة فاطمة إسماعيل
تحية حب وتقدير وعرفان
وإلى أولادى
هانى وياسر وهبه
تحية حب وتشجيع وإعزاز

محمد السيد الننه

إهداء المؤلفين

إلى :

Garrison, Jeanne, and Joy

Connie, Amy, Ethan, and Katy

Christy, Emily, and Maureen

والذين بفضل حبهم، وصبرهم، ودعمهم

أصبح هذا الكتاب حقيقة.

المحتويات

17	- مقدمة بقلم المترجم
19	- تصدير المؤلفين
	الفصل الأول : مقدمة فى الجودة البيئية
21	١ - ١ تمهيد
22	١ - ٢ مذهب الاهتمام بالبيئة
24	١ - ٣ دراسة البيئة: المنهج العلمى
27	١ - ٤ العلم البيئى والجمهور
28	١ - ٥ ملخص
29	المراجع
	الفصل الثانى : بيئتنا: الغلاف الجوى، الغلاف المائى، الأراضى
31	٢ - ١ مقدمة
32	٢ - ٢ الغلاف الجوى
35	٢ - ٢ - ١ طبيعة وخواص الطبقة السفلى من الغلاف الجوى ...
38	٢ - ٢ - ٢ بورات الغلاف الجوى
40	٢ - ٣ الغلاف المائى
42	٢ - ٣ - ١ خواص المياه
43	٢ - ٣ - ٢ مكونات الدورة الهيدرولوجية
45	٢ - ٣ - ٢ - ١ الأراضى
52	٢ - ٣ - ٢ - ٢ المياه السطحية الداخلية
53	٢ - ٣ - ٢ - ٢ المياه الجوفية
55	٢ - ٤ بيئة التربة

56	..... ٢ - ٤ - ١ الخواص الفيزيائية للأراضي
64	..... ٢ - ٤ - ٢ الخواص الكيميائية للأراضي
64	..... ٢ - ٤ - ١ معادن الطين
71	..... ٢ - ٤ - ٢ المادة العضوية
74	..... ٢ - ٤ - ٣ التبادل الأيوني
75	..... ٢ - ٤ - ٣ الغلاف الحيوي
77	..... ٢ - ٤ - ٣ النباتات
77	..... ٢ - ٤ - ٣ حيوانات التربة
80	..... ٢ - ٤ - ٣ الكائنات الدقيقة في التربة
83	..... ٢ - ٤ - ٤ تطور الأراضي
89	..... ٢ - ٤ - ٤ تصنيف الأراضي واستخدامها ...
95	..... المراجع
	الفصل الثالث : تصنيف الملوثات
97	..... ٣ - ١ تعريف مصطلح التلوث
101	..... ٣ - ٢ تصنيف الملوثات
105	..... ٣ - ٢ جودة التربة
107	..... ٣ - ٤ تعرض الإنسان للملوثات التربة
109	..... ٣ - ٥ القضايا البيئية الرئيسية في علوم الأراضي
111	..... المراجع
	الفصل الرابع : نتروجين التربة والجودة البيئية
113	..... ٤ - ١ النتروجين والبيئة
116	..... ٤ - ١ - ١ أصل وتوزيع النتروجين في البيئة
119	..... ٤ - ١ - ٢ تأثير النتروجين على صحة الإنسان والحيوان
120	..... ٤ - ١ - ٢ النتروجين وعملية التشبع الغذائي
	..... ٤ - ١ - ٤ التأثيرات الجوية للنتروجين: الترسيب الحامضي
121	..... وطبقة الأوزون

122	..... ٤ - ١ - ٥ تقويم خطر التلوث بالنتروجين
125	..... ٤ - ٢ دورة النتروجين فى الأراضى
126	..... ٤ - ٢ - ١ معدنة، وتأزت، وتثبيت النتروجين فى صورة عضوية ..
134	..... ٤ - ٢ - ٢ الفقد الغازى للنتروجين: تطاير الأمونيا وعكس التأزت
143	..... ٤ - ٢ - ٢ فقد النتروجين بالغسيل والإزالة
148	..... ٤ - ٢ - ٤ التثبيت الحيوى للنتروجين
154	..... ٤ - ٢ مصادر النتروجين
156	..... ٤ - ٣ - ١ مصادر النتروجين غير العضوية
159	..... ٤ - ٣ - ٢ مصادر النتروجين العضوية
165	..... ٤ - ٤ أسس الكفاءة فى إدارة النتروجين
168	..... ٤ - ٤ - ١ المبادئ العامة لكفاءة استخدام النتروجين
173	..... ٤ - ٤ - ٢ إدارة النتروجين فى الزراعة
	..... ٤ - ٤ - ٣ إدارة النتروجين فى مواقع لاتهدف إلى الإنتاج
190	..... الزراعى
194	..... المراجع
	الفصل الخامس : فوسفور التربة والجودة البيئية
199	..... ٥ - ١ الفوسفور والبيئة
200	..... ٥ - ١ - ١ ظاهرة التشبع الغذائى: دور الفوسفور
204	..... ٥ - ١ - ٢ التأثيرات البيئية لفوسفور التربة
207	..... ٥ - ٢ دورة فوسفور التربة
208	..... ٥ - ٢ - ١ فوسفور التربة غير العضوى
210	..... ٥ - ٢ - ٢ فوسفور التربة العضوى
214	..... ٥ - ٢ - ٣ إضافات الفوسفور للأراضى
219	..... ٥ - ٢ تحولات الفوسفور فى الأراضى
220	..... ٥ - ٢ - ١ ادمصاص وانطلاق فوسفور التربة
228	..... ٥ - ٢ - ٢ ترسيب فوسفور التربة

229	٥ - ٣ - ٣ معدنة فوسفور التربة وثبثته في صورة عضوية
230	٥ - ٤ انتقال الفوسفور في البيئة
232	٥ - ٤ - ١ انتقال الفوسفور عن طريق الانسياب السطحي
239	٥ - ٤ - ٢ غسيل الفوسفور وانسيابه تحت السطح
243	٥ - ٥ الإدارة البيئية لفوسفور التربة
244	٥ - ٥ - ١ إدارة فوسفور التربة : اختبار التربة وميزانية العنصر
252	٥ - ٥ - ٢ إدارة فوسفور التربة: التسميد وممارسات الصيانة ..
257	المراجع
الفصل السادس : كبريت التربة والجودة البيئية	
261	٦ - ١ الكبريت والبيئة
262	٦ - ١ - ١ أهمية الكبريت
263	٦ - ١ - ٢ التأثير البيئي للكبريت
266	٦ - ٢ دورة الكبريت العالمية
270	٦ - ٢ - ١ الكبريت غير العضوى في الأراضى
275	٦ - ٢ - ٢ الكبريت العضوى في الأراضى
278	٦ - ٢ - ٣ مخطط تجزئ الكبريت
282	٦ - ٣ احتجاز الكبريت وتحولاته في الأراضى
282	٦ - ٣ - ١ ادمصاص وانطلاق كبريتات التربة
284	٦ - ٣ - ٢ تفاعلات التأكسد - الاختزال للكبريت غير العضوى ..
287	٦ - ٣ - ٣ تحولات الكبريت العضوى
288	٦ - ٤ استجابة النبات للكبريت
290	٦ - ٤ - ١ الكبريت في تغذية النبات
291	٦ - ٤ - ٢ دلالات تيسر الكبريت
294	٦ - ٥ الإدارة البيئية للكبريت
295	٦ - ٥ - ١ إدارة الكبريت في الزراعة

	٦ - ٥ - ٢ استصلاح الأراضي الحامضية وأراضي المناجم
298	..... التالفة
299	..... ٦ - ٥ - ٣ استصلاح الأراضي السودانية
300	..... المراجع
	الفصل السابع : العناصر النادرة
303	..... ٧ - ١ مقدمة
308	..... ٧ - ٢ التأثيرات العكسية
309	..... ٧ - ٢ - ١ صحة الانسان
310	..... ٧ - ٢ - ٢ صحة الحيوان
312	..... ٧ - ٢ - ٣ تسمم النباتات
314	..... ٧ - ٢ - ٤ البيئات المائية
315	..... ٧ - ٣ التيسر البيولوجي للعناصر النادرة في الأراضي
325	..... ٧ - ٤ اختيارات العلاج للأراضي الملوثة بالعناصر النادرة
326	..... ٧ - ٤ - ١ تقنيات المعالجة
327	..... ٧ - ٤ - ٢ الإدارة في نفس الموقع
332	..... ٧ - ٥ ملاحظات إضافية
333	..... المراجع
	الفصل الثامن : المواد الكيميائية العضوية في البيئة
335	..... ٨ - ١ مقدمة
336	..... ٨ - ١ - ١ مصادر الكيماويات العضوية
337	..... ٨ - ١ - ٢ أقسام المبيدات
337	..... ٨ - ٢ التأثيرات العكسية
340	..... ٨ - ٢ - ١ أسلوب الفعل الحيوي للمبيدات
340	..... ٨ - ٢ - ٢ التأثير على الكائنات الدقيقة
341	..... ٨ - ٢ - ٣ التأثير على النباتات
343	..... ٨ - ٢ - ٤ صحة الانسان

344	..... ٨ - ٢ - ٥ تلوث المياه الجوفية
345	..... ٨ - ٣ التنبؤ بمصير المبيدات والكيماويات العضوية الأخرى
347	..... ٨ - ٣ - ١ امتصاص النبات
351	..... ٨ - ٣ - ٢ النويان
353	..... ٨ - ٣ - ٣ نصف فترة الحياة
354	..... ٨ - ٣ - ٤ التطاير
357	..... ٨ - ٣ - ٥ التحلل الضوئي
359	..... ٨ - ٣ - ٦ الامصاص - الانطلاق
362	..... ٨ - ٣ - ٧ التحولات الحيوية وغير الحيوية
364	..... ٨ - ٤ استراتيجيات لعلاج المياه الجوفية والأراضي الملوثة
365	..... ٨ - ٤ - ١ استراتيجيات علاج المياه الجوفية
369	..... ٨ - ٤ - ٢ استراتيجيات العلاج للأراضي الملوثة
371	..... ٨ - ٤ - ٣ طرق المعالجة
372	..... ٨ - ٤ - ٣ - ١ الطرق الفيزيائية
373	..... ٨ - ٤ - ٣ - ٢ الطرق الكيماوية
374	..... ٨ - ٤ - ٣ - ٣ الطرق البيولوجية
375	..... ٨ - ٤ - ٤ الطرق المستخدمة لاحتواء الملوثات
377	..... ٨ - ٥ إدارة الآفات
379	..... ٨ - ٥ - ١ الإدارة المتكاملة للآفات
380	..... ٨ - ٥ - ٢ الوسائل البديلة لمكافحة الآفات
384	..... المراجع
	الفصل التاسع : الدورات البيوجيوكيميائية وإدارة الأراضي
387	..... ٩ - ١ الدورات البيوجيوكيميائية والبيئة
	..... ٩ - ١ - ١ الدورات البيوجيوكيميائية: المناطق الحيوية،
389	..... والمجتمعات الحيوية، والنظم البيئية

	٩ - ١ - ٢ الدورات البيوجيوكيميائية: النظم البيئية المتفاعلة
392	..... والمناطق الانتقالية
394	٩ - ٢ إدارة الدورات البيوجيوكيميائية
	٩ - ٢ - ١ إدارة العنصر الغذائي في المزارع التي بها إنتاج
396	حيوانى وفى المزارع التى بدون انتاج حيوانى
400	٩ - ٢ - ٢ إدارة مخلفات البلديات المضافة للأراضى
408	٩ - ٢ - ٣ تحولات العنصر الغذائي فى الأراضى الرطبة
415	٩ - ٢ - ٤ العلاج الحيوى للأراضى الملوثة بالكيماويات العضوية
418	..... المراجع
	الفصل العاشر : الغلاف الجوى: تغير المناخ والترسيب الحامضى
421	١٠ - ١ تغير المناخ العالمى
429	١٠ - ١ - ١ ثانى أكسيد الكربون
436	١٠ - ١ - ٢ الميثان
439	١٠ - ١ - ٣ أكسيد النيتروز
440	١٠ - ١ - ٤ شوك وتعتيدات
442	١٠ - ٢ الترسيب الحامضى
447	١٠ - ٢ - ١ مصادر وتوزيع الترسيب الحامضى
448	١٠ - ٢ - ٢ التأثيرات البيئية للترسيب الحامضى
450	١٠ - ٢ - ٣ تأثير الترسيب الحامضى على الأراضى
454	١٠ - ٢ - ٤ تأثير الترسيب الحامضى على الحياة النباتية
456	١٠ - ٢ - ٥ تأثير الترسيب الحامضى على نظم البيئة المائية
461	١٠ - ٢ - ٦ تصحيح تأثيرات الترسيب الحامضى
463	..... المراجع
	الفصل الحادى عشر : تقويم الخطر
465	١١ - ١ تعريف الخطر
468	١١ - ٢ الوعى بالخطر

472	..... ١١ - ٣ التسرطن/ السرطنة
473	..... ١١ - ٤ تقويم الخطر
474	..... ١١ - ٤ - ١ تقويم التعرض للخطر
479	..... ١١ - ٤ - ٢ تقويم الاستجابة للجرعة
483	..... ١١ - ٤ - ٣ توصيف الخطر
489	..... ١١ - ٥ الشك
490	..... المراجع
493	..... مصطلحات الكتاب
509	..... مختصرات الكتاب
	ملحقات:
513	- جدول (١) العناصر، ورموزها، وأعدادها الذرية، وأوزانها الذرية
517	- جدول (٢) معاملات التحويل للوحدات القياسية والوحدات غير القياسية
521	- جدول (٣) المجالات والدوريات المرتبطة بعلوم البيئة
523	- المؤلفون في سطور
526	- المترجم في سطور

مقدمة المترجم

يبلغ عمر الاهتمام بالبيئة فى الولايات المتحدة حوالى أربعين عاماً لو اعتبرنا أن كتاب «الربيع الصامت» لراشيل كارسون عام ١٩٦٢ بداية اهتمام الجمهور بالبيئة على نطاق واسع؛ حيث تنبأت المؤلفة بأنه سوف يأتى ربيع على الأرض لا تسمع فيه شقشقة العصافير، ولا زقزقة الطيور، ولا تغريد البلابل بسبب التلوث بالمواد الكيميائية ، وهذه الكيماويات منتشرة فى البيئة التى نعيش فيها، وتعرض لها يومياً فى حياتنا. ومما لاشك فيه أن عمر الاهتمام بالبيئة فى الدول النامية أقل بكثير عن نظيره بالولايات المتحدة، وثمة مقارنة أخرى تستحق الذكر ، وهى أن الاهتمام بالبيئة فى الولايات المتحدة تعدى مرحلة الكلام ، ووصل إلى مرحلة الفعل والتنفيذ ، وتمثل هذا فى وكالة حماية البيئة الفيدرالية والوكالات الأخرى المناظرة لها فى الولايات المختلفة، فى حين أن الاهتمام بالبيئة فى بلاد كثيرة مازال فى مرحلة الكلام .

وفيما يلى باختصار حيثيات ارتباط الأراضى بجودة البيئة:

- * المواد العديدة التى تعتبر ملوثات يحدث لها تدوير خلال الأراضى.
- * كثير من المواد التى تستخدم فى الإنتاج الزراعى كالأسمدة والمبيدات يمكن اعتبارها ملوثات.
- * التربة نفسها يمكن أن تكون مصدراً للتلوث.
- * تتفاعل الأراضى مع الدورة الهيدرولوجية والغلاف الجوى، وتعمل كمصدر للمكونات العديدة الموجودة فى الماء والهواء، أو كبالوعة لها.

* يهتم علماء الأراضى بكل من الأمور الزراعية والأمور الحضرية على قدم المساواة.

* تستقبل الأراضى - بقصد أو بدون قصد - مواد كثيرة ليس لها أى ارتباط بالإنتاج الزراعى ، ونتيجة لذلك تتكون الأراضى الملوثة.

* نحن لانزال غير مدركين لحجم ومشكلة الأراضى الملوثة، وسوف يستمر اكتشاف المزيد من الأراضى الملوثة، وسوف يستمر أيضاً نشأة وتكوين أراضٍ ملوثة.

ويعتبر علم الأراضى فرعاً معرفياً مفيداً لكل من يدرس البيئة ، ولكى تتحقق الدراسة الجيدة للبيئة، على المرء أن يكون على معرفة جيدة بالأراضى، والهيدرولوجى، وكيمياء الغلاف الجوى، وتصنيف الملوثات. وهو ما يقدمه هذا الكتاب. ويلى ذلك مناقشات مستفيضة عن دور الأراضى فى التدوير البيوجيوكيميائى لكل من: النتروجين، والفوسفور، والكبريت، والعناصر النادرة، والكيمائيات العضوية، وغازات الصوبة، ومكونات الترسيب الحامضى. ويشرح الكتاب أيضاً التفاعلات بين هذه الملوثات الخطيرة وكل من الأراضى، والبيئة المائية، والغلاف الجوى. ولقد تم مناقشة الأساليب المختلفة لعلاج الأراضى الملوثة، وكذلك تم مناقشة تقويم الخطر الناتج عن استخدام المبيدات فى مياه الشرب أو عن تلوث الأراضى بواسطة العناصر النادرة الموجودة فى المخلفات العضوية التى تضاف إليها.

وفى النهاية، أتوجه بالشكر إلى المجلس الأعلى للثقافة الذى بفضلہ خرج هذا العمل للوجود ، وأصبح حقيقة.

وما توفيقى إلا من عند الله

أ.د. محمد السيد الننه

تصدير المؤلفين

تعتبر جودة البيئة التي نعيش فيها محصلة لكل من الظواهر الطبيعية ونشاط الإنسان، وتمثل الأراضي حلقة التداخل بين نشاط الإنسان ومكونات البيئة التي نرغب في المحافظة عليها. وعلى ذلك يعتبر فهم خواص الأراضي وتفاعلاتها مهماً في تقويم كيفية سلوك الملوثات العديدة والعناصر الغذائية الضرورية في بيئة التربة، وكذلك تلعب الأراضي دوراً مهماً في تحديد جودة البيئة؛ حيث يمكن أن تكون مصدراً للعديد من الملوثات، أو بالوعة لها، أو وسطاً للتفاعل معها، وبالتالي فإن الإدارة السليمة للأراضي تمثل خطوة مهمة في المحافظة على جودة البيئة وتحسينها.

بدايةً، نقدم في هذا الكتاب، فكرة شاملة عن مبادئ علوم الأراضي، والهيدروولوجي، وكيمياء الغلاف الجوي، وتصنيف الملوثات، ويلي ذلك مناقشات مستفيضة عن دور الأراضي في التدوير البيوجيوكيميائي للعناصر الكبرى والمركبات المهمة بيئياً، كما نقدم أيضاً مناقشة عميقة لعناصر النتروجين، والفوسفور، والكبريت، والعناصر النادرة، والكيمويات العضوية، وغازات الصوية، والمطر الحامضي، وكذلك نقدم إيضاحاً لتفاعلات هذه الملوثات الخطيرة مع كل من الأراضي، والبيئة المائية، وبيئة الغلاف الجوي. ولقد ذكرنا أيضاً طرق إدارة الأراضي أو طرق استصلاحها التي تقلل تلوث البيئة إلى أدنى درجة أو تمنعه تماماً، كما تم حصر ومراجعة الأخطار الناتجة عن استخدام أمثلة عديدة معاصرة مثل تركيزات المبيدات في مياه الشرب أو تلوث الأراضي بالعناصر النادرة الموجودة في المخلفات العضوية.

لقد تم إعداد كتاب «الأراضي والجودة البيئية» ليكون كتاباً جامعياً للمستوى المتقدم لمساق «الأراضي والبيئة» لطلاب مرحلة ما قبل التخرج. ولقد أعد الكتاب بمستوى يتطلب من القارئ أن يكون لديه معرفة بمبادئ علم الكيمياء، ونعتقد أنه بإضافات مناسبة يمكن أن يستخدم هذا الكتاب أيضاً كأساس لمقرر دراسات عليا، كما يمكن أيضاً للأفراد المهتمين بدراسات الأراضي، وهندسة البيئة، والغابات، وعلم البيئة، والبيولوجي، والجيولوجيا، والجغرافيا أن يستفيدوا من هذا الكتاب.

الفصل الأول

مقدمة فى الجودة البيئية

١ - ١ تمهيد :

يمكن معالجة موضوع الجودة البيئية من وجهات نظر عديدة ؛ فالمهندسون، والجغرافيون، والمعماريون، والمحامون، ورجال الأعمال، وأخصائيو الرعاية الصحية، والبيولوجيون، والجيولوجيون، وغيرهم، يمكن أن تكون لهم جميعاً اهتمامات معينة بالجودة البيئية. ويعرض هذا الكتاب وجهة نظر علماء الأراضى فى الجودة البيئية، ذلك لأن لعلماء الأراضى ميزة فريدة - لا نظير لها - فى هذا الموضوع بسبب أن المواد العديدة التى يمكن اعتبارها ملوثات يحدث لها تدوير خلال الأراضى، كما أن كثيرا من المواد المستخدمة فى الإنتاج الزراعى يمكن اعتبارها ملوثات، كما تتلوث التربة غالبا بمواد عديدة لا تستخدم فى عملية الإنتاج الزراعى. بالإضافة إلى أن التربة نفسها يمكن أن تكون مصدرا للتلوث، وتتفاعل الأراضى أيضا مع الدورة الهيدروالوجية والغلاف الجوى بالعمل كمصدر للمكونات العديدة الموجودة فى الماء والهواء أو كبالوعة لها.

ولكى نفهم جيدا العلاقة بين إنتاج الغذاء والجودة البيئية، فلنفكر فى مسألة صناعة «سلعى» وهى منتج غير محدد يستخدمه طلبة التجارة - بصفة متكررة - فى تعليمهم ؛ فإذا أدنى إنتاج هذه السلعة إلى خطر غير مقبول للبيئة، حينئذ يمكن للمجتمع أن يقرر أن يستمر ويتقدم بدون إنتاج هذه السلعة، وبالطبع فإنه لا يمكن اتخاذ القرار نفسه بالنسبة للغذاء ؛ لأننا يجب أن نستمر فى إنتاجه، ولذلك يجب على المجتمع أن يتحمل المسئولية تجاه المواد الضارة المستخدمة فى الإنتاج الزراعى، كما

ينبغي ملاحظة أن استخدامنا لكلمة «مجتمع» من الناحية المثالية، تعنى أنه يجب على جميع أفراد المجتمع استيعاب وفهم العمليات الأساسية لإنتاج الغذاء بما فى ذلك الأخطار الناتجة مقابل الفائدة العائدة المرتبطة بالمدخلات.

إن عمل علماء الأراضى لا يقتصر على حدود يفرضها علم الزراعة، وذلك لأن علماء الأراضى يهتمون بكل من الأمور الزراعية والحضرية على قدم المساواة. ويعيداً عن ميدان إنتاج الغذاء، فإننا يجب أن نعرف أنه طالما أن المواد الضارة تُخزّن، وتُنقل، وتُستخدم، أو تُنتج كنواتج ثانوية، فإن الفرصة ستسمح بانطلاق عَرَضِيٍّ (غير مقصود) لهذه المواد فى البيئة ؛ حيث لا يوجد مجتمع خال من الأخطار.

وسوف نجد فى ثنايا نصوص هذا الكتاب أن الأراضى تستقبل - بقصد أو بدون قصد - مواد كثيرة ليس لها أى ارتباط بالإنتاج الزراعى، ونتيجة لذلك تتكون الأراضى الملوثة. وفى جميع الظروف، فنحن لا نزال غير مدركين لحجم مشكلة الأراضى الملوثة، وسوف يستمر اكتشاف المزيد من الأراضى الملوثة، ولسوء الحظ فإنه سوف يستمر أيضاً نشأة وتكوين الأراضى الملوثة.

١ - ٢ مذهب الاهتمام بالبيئة :

قد يبدو أن الجودة البيئية موضوع جديد ، ولكن الواقع يشير إلى أن هذا الكتاب عن الجودة البيئية ماهو إلا اهتمام متجدد بموضوع قديم، وفى عصرنا الحديث، فإن مذهب الاهتمام بالبيئة يبلغ عمره حوالى ثلاثين سنة إذا اعتبرنا مؤلف «الربيع الصامت» لراشيل كارسون Rachel Carson المنشور عام ١٩٦٢ بداية اهتمام الجمهور بالبيئة على نطاق واسع، ويبلغ عمر وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة، والمعروفة باسم EPA ، حوالى عشرين سنة، وهو أيضاً العمر نفسه لعدد من المجالات العلمية التى تعالج الغرض نفسه وتنشر نتائج الأبحاث البيئية، وكذلك كان العيد السنوى العشرون لـ «يوم الأرض» عام ١٩٩٠، وهناك عاملان مسؤولان عن تجديد هذا الاهتمام بحماية البيئة: الأول : أننا أصبحنا على دراية متزايدة بأن التعرض للمواد

المختلفة قد يقلل من عمر الإنسان، وأن السلوك الطبيعي هو أن نُحدِّد أو نقلل من استخدامنا للمواد التي نتوقع أن تكون لها تأثيرات عكسية ضارة بصحة الإنسان،
والآخر : أن إمكانيات التحليل الكبيرة المتاحة حالياً تسمح بمعرفة أكثر دقة للبيئة التي نعيش فيها، عن طريق مايمكن اكتشافه وعند أى حدود (تركيزات) يكون الاكتشاف.

وبالنسبة لموضوع البيئة، فهناك طريقة فلسفية تُصنّف سلوك الأفراد فى فئات ثلاث هى:

– فئة الفرد الأنثوي «الأنثوية»: وهى التى تكون فيها أفعال الفرد الشخصية موجهة لمصلحة الفرد نفسه فقط،

– وفئة الفرد الإنساني: وفيها يمتد اهتمام الفرد إلى الجنس البشرى.

– وفئة الفرد المهتم بالبيئة: وفيها يكون جل اهتمام الفرد بالبيئة ككل.

ومع كل ثورة خاصة بالاهتمام بالجودة البيئية يرتقى سلوك الأفراد – ببطء – من الاهتمام فقط بمصلحة الفرد نفسه (الأنثوية) إلى مواقف أكثر اهتماماً بالقضايا البيئية.

لقد أصبح مذهب الاهتمام بالبيئة حركة اجتماعية، وأوضح إريك هوفر Eric Hoffer فى كتابه «المؤمن الصادق» مراحل ثلاث للحركات الاجتماعية، وتسمى المرحلة الأولى «مرحلة المتكلمين»، وفى هذه المرحلة يتم مناقشة الحركة الاجتماعية عن طريق المناظرات التى تقوم بين قطاع صغير من المجتمع تسمى أفرادها عادة بالعقلانيين. وفى نهاية المرحلة الأولى يتم وصف تلك الحركة الاجتماعية فى مقالات عديدة. ولقد تم إدراج راشيل كارسون Rachel Carson ضمن فئة المتكلمين هذه. والمرحلة الثانية تسمى «مرحلة التعصب»، وهى تتسم بزيادة وعى المجتمع بالحركة الاجتماعية ذات الاهتمام بالبيئة، وذلك من خلال أفعال عديدة غير قانونية تجذب الانتباه، يقوم بها مؤمنون متحمسون لها، وقد تشمل مرحلة التعصب البيئى وسائل عديدة لإيقاف إنتاج صناعة ما يُعتقد أنها تلوث البيئة (مثل التخريب المتعمد للممتلكات العامة أو الخاصة)، أو قد تشمل أفعالاً عنيفة مثل القذف بالقنابل أو خطف

الأشخاص، وتسمى المرحلة الثالثة والأخيرة مرحلة أصحاب المواقف العملية، ويسمى البعض بأنها مرحلة إقامة مؤسسات أو جمعيات العناية بالبيئة. وفي هذه المرحلة يوجد وعى واسع الانتشار ومساندة كبيرة لتلك الحركة الاجتماعية المهمة بالبيئة. ويستخدم المعارضون الأفعال والوسائل القانونية من أجل تقليل العنف، وقد تُستخدم المقاطعات المنظمة، على سبيل المثال، وقد تتشكل جمعيات أو حتى وكالات للغرض نفسه، كما تسود المواقف التي تركز على الاهتمام بالبيئة، ويُلخص إيريك هوفر (١٩٥١) هذا بقوله: «لقد مهّد المتكلمون لتلك الحركة الاجتماعية، وقام المتعصبون بتجسيدها، وقام العمليون بتوحيدها وتقويتها».

لقد حدث لمذهب الاهتمام بالبيئة تقدم واضح في الولايات المتحدة، ووصل هذا التقدم إلى مرحلة إقامة المؤسسات أو المنظمات متمثلة في وكالة حماية البيئة الفيدرالية، ووحدات الحكومة المقابلة في كل ولاية، ومن خلال الاهتمام بالبيئة هناك باستمرار موضوعات سوف تظهر، وستعالج من خلال إحدى مراحل الحركة الاجتماعية أو جميعها. والمحاولات الحديثة التي قام بها بعض أعضاء الجماعات البيئية لمنع مرور سفن صيد الحيتان تعتبر مثالا للتعصب، وتعتبر مسألة تغير المناخ العالمي بسبب زيادة تركيز غازات الصوبة في الغلاف الجوى حالة متأخرة في مرحلة المتكلمين وليس لها - بعد - أية إشارة في مرحلة التعصب.

١ - ٣ دراسة البيئة : المنهج العلمى :

يُوفّر المنهج العلمى مجموعة من القواعد باتباعها تستطيع الفرق العلمية أن تقوم بعمل أبحاثها ؛ فيتم عمل تصميم التجارب، وجمع البيانات وتفسيرها بطريقة منهجية وموضوعية. وليس هناك اتفاق حول تعريف المنهج العلمى فيما يتعلق باتباع الخطوات نفسها فى كل بحث علمى. غير أن هناك بعض العوامل المشتركة فى جميع الأبحاث ينبغى توافرها قبل الموافقة على إجراء دراسة معينة بواسطة الفريق العلمى.

يمكن استخدام عملية الاستدلال البسيطة لشرح المنهج العلمى . والخطوة الأولى هى الملاحظة ، وهى ببساطة يمكن أن تكون ملاحظة النمو الهزيل

للنبات أو التركيز المتزايد لأحد المعادن الثقيلة في عينة تربة، ويمكن تنفيذ الملاحظة بأى من الحواس الخمس أو باستخدام الآلات والأجهزة العلمية المتطورة التى تعزز حواسنا، ويجب التأكد من صحة الملاحظات، كما يجب أن يكون الباحثون قادرين على إعادة الظروف المصاحبة للملاحظة والحصول على النتائج نفسها. وإذا تم استخدام تقنيات واختبارات بديلة فى إثبات صحة الملاحظات، فإن هذا يضيف المزيد من التأكد والصحة لها ؛ حيث إن الملاحظات التى تصمد لاختبارات الإثبات تصبح مقبولة كحقائق علمية.

كما يتضمن إجراء الملاحظات وإثبات صحتها مقداراً كبيراً من العلم يعطينا معلومات نافعة، إلا أن الملاحظات البسيطة لا تفسر الآليات التى سببت التأثير الذى تمت ملاحظته ؛ فعلى سبيل المثال، إضافة رماد الفحم للتربة بمعدلات كبيرة جداً يمنع نمو النبات ، وهذه ملاحظة حقيقية ؛ أى ثبت صحتها؛ فرماد الفحم يمكن أن يغير رقم حموضة التربة (pH) كما أنه يحتوى على بوردون وأملاح ذائبة، ويمكن لأى منها أن يمنع نمو النبات. الخطوة الثانية فى المنهج العلمى هى تشكيل أو صياغة الفروض العلمية واختبار هذه الفروض بتجارب موجهة. والفرض عبارة عن تفسير معقول للملاحظة المقبولة تجريبياً، والتى تفيد كأساس للأبحاث التالية. والتجارب الموجهة تجارب متكررة تكون فيها جميع العوامل ثابتة باستثناء العامل المتعلق بالسؤال ؛ ففى حالتنا هذه فإن «عنصر البوردون فى الرماد المتطاير يمنع نمو النباتات عند إضافة الرماد إلى التربة»، يعتبر هذا الفرض معقولاً، ويمكن تصميم تجربة مناسبة لتحديد ما إذا كان الفرض صحيحاً أو خطأ، كما يمكن تحقيق تقدم بصرف النظر عن نتائج التجربة إذا كنا على علم بأن البوردون أو غيره هو الذى يعوق نمو النبات؛ فإذا كان الفرض صحيحاً، فإن الخطوة المنطقية التالية ستكون هى السؤال: لماذا يعوق البوردون نمو النبات؟ وهكذا تستمر العملية.

ويعتبر تكرار المعاملات فى التجارب الموجهة نقطة مهمة ؛ فالتكرار يوفر وسيلة لتحديد ما إذا كان تأثير المعاملات حقيقياً (معنوياً إحصائياً) أو يرجع إلى المصادفة (غير معنوى إحصائياً). وكلما زاد التكرار تأكد الباحث من ظهور تأثير المعاملات أو عدم ظهوره.

وهناك بعض الأبحاث العلمية لا تخضع للتجارب الموجهة، مثل دراسات الصحة البشرية؛ فقد يلاحظ الأطباء أن المرضى بنوع معين من السرطان قد تعرضوا لمادة كيميائية معينة، ولكنهم لا يستطيعون اختبار الفرض المناسب بتنفيذ تجارب موجهة توجيهها مباشرة على البشر. غير أن دراسات علم الأوبئة يمكن أن تكون مفيدة في مثل هذه الظروف (التي يتمثل فيها تنفيذ تجارب على البشر)؛ فعلم الأوبئة (الإبيديميولوجيا) هو علم دراسة حدوث أو عدم حدوث المرض بين السكان بدون الاستعانة بالتجارب الموجهة؛ إذ لو أمكن تحديد ومعرفة مجموعات المقارنة (المتماثلة في العمر، والجنس، ... إلخ) التي تعرضت لمستويات مختلفة من المادة الكيميائية محل السؤال، فحينئذ يمكن عمل مقارنات إحصائية لتكرار حدوث المرض بين المجموعات المتماثلة. إن دراسات علم الأوبئة ليست حاسمة مثل التجارب الموجهة، ويمكن أن يؤدي هذا إلى بعض التصريحات العجيبة، مثلما حدث ودافعت شركات التبغ عن نفسها بحجة أنه لم يثبت بدرجة حاسمة أن استخدام منتجات التبغ تسبب السرطان. ونستطيع أن نقول من الناحية الفنية إنهم على صواب؛ حيث لم يتم عمل تجارب موجهة على البشر. وعلى العكس من ذلك يستشهد مسئولو الصحة بدراسات علم الأوبئة التي تظهر ارتباطاً قوياً بين استخدام التبغ ومدى تفشى مرض السرطان.

ومعظم الدراسات العلمية تنتهي عند هذه النقطة. وبين الحين والآخر تظهر نظرية تحاول أن تفسر عدداً كبيراً من الملاحظات أو الحقائق، أو تتنبأ بها، مثل نظرية التطور. وعن طريق افتراض الفروض يمكن اختبار مدى صدق هذه النظريات. وفوق ذلك، هناك القوانين الطبيعية والمبادئ الأساسية، والتي لم نلاحظ حدوث استثناءات لها، والأمثلة على ذلك كثيرة مثل قانون الجاذبية وقانون بقاء الطاقة.

ويعتبر نشر نتائج الأبحاث العلمية في مجلات محكمة جزءاً متمماً للمنهج العلمي؛ فتبدأ العملية بتسليم مخطوط البحث إلى محرر المجلة الذي يرسلها بدوره إلى عدد من المحكمين. يقوم المحكمون بتقويم البحث من حيث تميزه، ومدى التزامه بالمنهج العلمي، ودقة التحليل الإحصائي، وجودة الكتابة، والقوة العلمية ككل قبل الموافقة على النشر في المجلة، بعدئذ يظهر المخطوط في المجلة؛ والقارئ مطلق الحرية في أن يقبل النتائج، أو يتحداها، أو يحاول إثبات صحتها. لتتذكر معاً الاهتمام الحديث بفكرة

الانصهار من غير تسخين (على البارد). فى هذه الحالة، حدث انتشار واسع لنتائج التجربة قبل أن تأخذ دورها من خلال عملية النشر. وقد نشأت ضجة كبيرة من قبل وسائل الإعلام والحكومة بسبب العواقب بعيدة المدى للانصهار بدون تسخين، وعندما نشرت تفاصيل التجربة لم يستطع أحد أن يتأكد من إثبات صحة النتائج، ووقع الباحثون ومعاهدهم العلمية فى الكثير من الحيرة والارتباك.

ولعلنا ندرك مدى أهمية المنهج العلمى خاصة أن المسائل المتعلقة بالبيئة يمكن أن يتم اتهامها بطريقة انفعالية ؛ لأنها يمكن أن تؤثر على صحة الإنسان والحيوان، وتستلزم مبالغ مالية كبيرة، كما أن القرارات والأفعال القائمة على معلومات ناقصة يمكن أن تؤدي إلى جهود وأموال مفقودة هباءً، وسن تشريعات غير ضرورية، ولكي تكون موضوعيا يجب أن تقوم المعلومات، ويجب أن تعرف مصادرها وعما إذا كانت تلك المعلومات نتيجة منهج علمى أو لا؟ ويجب أيضا أن تتحقق من المعلومات التى من الجائز أن تكون مفرضة بسبب المصالح الشخصية والأغراض العاطفية ؛ فالمنهج العلمى يوفر الآلية التى عن طريقها يستطيع الباحث أن يواصل الحصول على المعرفة بصورة نزيهة.

١ - ٤ العلم البيئى والجمهور :

إن المجتمع هو المسئول فى النهاية عن البيئة ؛ فهو الذى ينتخب الجماعات التى تصدر التشريعات البيئية وتقرر الضرائب التى ستنتفك على الأبحاث البيئية. وبالرغم من ذلك، فإن المسؤولية ليست واضحة المعالم بسبب وجود مؤثرات كثيرة معقدة ؛ فالتشريعات البيئية تؤثر بطريقة مباشرة على الصناعات التى توفر بدورها فرص عمل للمجتمع، كما أن تكلفة خضوع واستجابة المؤسسات الخاصة والوحدات الحكومية للتشريعات البيئية سوف ينعكس على المستهلكين من خلال ارتفاع الأسعار والضرائب، وتنتج هذه المؤثرات نحو إضعاف التشريعات البيئية، وعكس هذا الاتجاه هو خوف الناس على أنفسهم من تأثير الملوثات، بالإضافة إلى زيادة تقديرهم للبيئة التى يعيشون فيها.

وتلعب وسائل الإعلام دوراً عن طريق نقل المعرفة من الفرق العلمية إلى الجمهور؛ فإذا كان للفرق العلمي كيان منظم، ويتفق أعضاؤه دائماً على أن المعلومات التي تنشر فقط هي التي يتم تقويمها بدقة بالغة، فبذلك سيتأكد الجمهور من أنه سوف يتلقى فقط المعلومات الموثوق فيها. وهذا بالطبع ليس الحال ؛ لأن الإعلام يذيع المعلومات الشائعة للمشاهدين مشروطاً أن تأتي المعلومات من مصدر موثوق به. ويعطى الإعلام اهتماماً أقل إذا كانت المعلومات ناتجة بالكامل عن المنهج العلمي أو عن جزء منه ، وينبغي أن ننتبه للفرق بين **الحادثة البيئية والمسألة البيئية** ؛ فالحادثة البيئية هي حدوث حدث مهم مرتبط بالبيئة، بينما **المسألة البيئية** هي موضوع أو سؤال مرتبط بالبيئة سيناقش أو يتخذ قرار بشأنه ؛ فسقوط (انسكاب) مادة كيميائية حادث بيئي بينما الاستجابة لسقوط المادة الكيميائية، والتي قد تتضمن أفعالاً يجب اتخاذها لمنع المزيد من السقوط، تعتبر مسألة بيئية. ويجب أن يتسم إعداد تقارير عن المسائل والحوادث البيئية بالموضوعية، غير أن الموضوعية يتم تسويتها والتوصل فيها إلى حل وسط في الغالب عندما تختص بالمسائل البيئية. مرة أخرى، فإن القدرة على تقويم المعلومات هي المفتاح للفهم الكامل للشئون البيئية.

بالإضافة إلى الجوانب الفنية المتضمنة في دراسة علاقة الأراضى بالجودة البيئية، فهناك موضوع ذو أهمية متزايدة هو تقويم الخطر ؛ فالخطر هو فرصة حدوث ضرر، أو خسارة، أو تدمير. وفي مجمل سياق العلم البيئي، فإن تقويم الخطر هو العملية المستخدمة للتقدير الكمي للمخاطر المرتبطة بتعرض أى كائن إلى مواد مختلفة في البيئة. وتقويم الخطر يمكن أن يوفر المعلومات الأساسية للتشريعات البيئية، ومع ذلك فإن هذه المعلومات يمكن تجاهلها إذا أراد المجتمع ذلك.

١ - ٥ ملخص :

عندما يقوم المرء بدراسة العلم البيئي، فإن جزءاً من مهمته أن يصبح عالماً بالنواحي الفنية مثل: المنهج العلمي، والمصطلحات، والعمليات، كما أن جزءاً من مهمته أيضاً هو الالتزام بالموضوعية، وبالأساليب الفلسفية، كما يقدر أيضاً تلك الأسئلة

الخاصة بالجوانب الأخلاقية اللازمة للوصول إلى فهم كامل للمسائل البيئية. وتلعب الأراضي دوراً رئيسياً في تدوير الكثير من الملوثات البيئية ؛ ويعتبر علم الأراضي فرعاً معرفياً مفيداً لكل من يدرس البيئة ، ولكي تتحقق الدراسة الجيدة للبيئة ، على المرء أن يكون على درجة من الفهم الجيد للأراضي، والهيدرولوجي، والغلاف الجوي ، وهو ماسيحاوول هذا الكتاب أن يقدمه ، وسوف يتم بعد ذلك تعريف الأقسام الرئيسية للملوثات الأراضي، يليها مناقشة تفصيلية لكل منها، وسيتناول الفصل الأخير تقويم الخطر وعلاقته بالأراضي.

المراجع

Hoffer Eric, The True Believer. Thoughts on the Nature of Mass Movements, Harper & Row, New York, 1951.

Rousseau, D.L., Case Studies in Pathological Science, Am. Sci., 80, 54, 1992.

الفصل الثانى

بيئتنا: الغلاف الجوى، الغلاف المائى، الأراضى

٢ - ١ مقدمة :

تحتوى بيئتنا على مواد طبيعية تمنحنا مقومات الحياة ؛ فالحياة - كما نعرفها - تتطلب عناصر غذائية، ومياهًا، وأكسجين. وتتوفر مقومات الحياة عن طريق الهواء الذى نتنفسه، والسوائل التى نشربها، والغذاء الذى نأكله، كما يحتوى الغلاف الجوى على الغازات الضرورية مثل: الأكسجين، وثانى أكسيد الكربون، والتروجين ، وهى مواد مطلوبة من أجل استمرارية وجودنا. ويأتى الماء الذى نشربه من الموارد المائية السطحية والأرضية، وجميعها يتم تدويرها على مدار ملايين السنين التى نشأت خلالها الأرض، ويعتمد إنتاج المحاصيل اللازمة لاستهلاك الإنسان والحيوان على قدرتنا فى حرث ويزر وزراعة أراضينا.

وسوف نناقش - فى هذا الكتاب - أهمية الجودة البيئية وعلاقتها بصحة الإنسان والحيوان والنبات، وكذلك أيضا سنناقش علاقتها بالنواحي الجمالية. وعندما نناقش الصفات الأساسية والسامة للعناصر والكيماويات المختلفة؛ فإنه من الضرورى أن نتعرف على الظروف البيئية التى توجد فيها. وهناك قاعدة تعنى أن التيسر الحيوى لهذه العناصر والمواد السامة (توكسينات) يمثل النقطة الحرجة فى هذه العلاقة. والمقصود بالتيسر الحيوى هو مقدار ما تسببه المادة الكيميائية فى البيئة من تأثير سلبى أو إيجابى على كائن معين ، وعلى ذلك يكون التيسر الحيوى دالة للأصناف

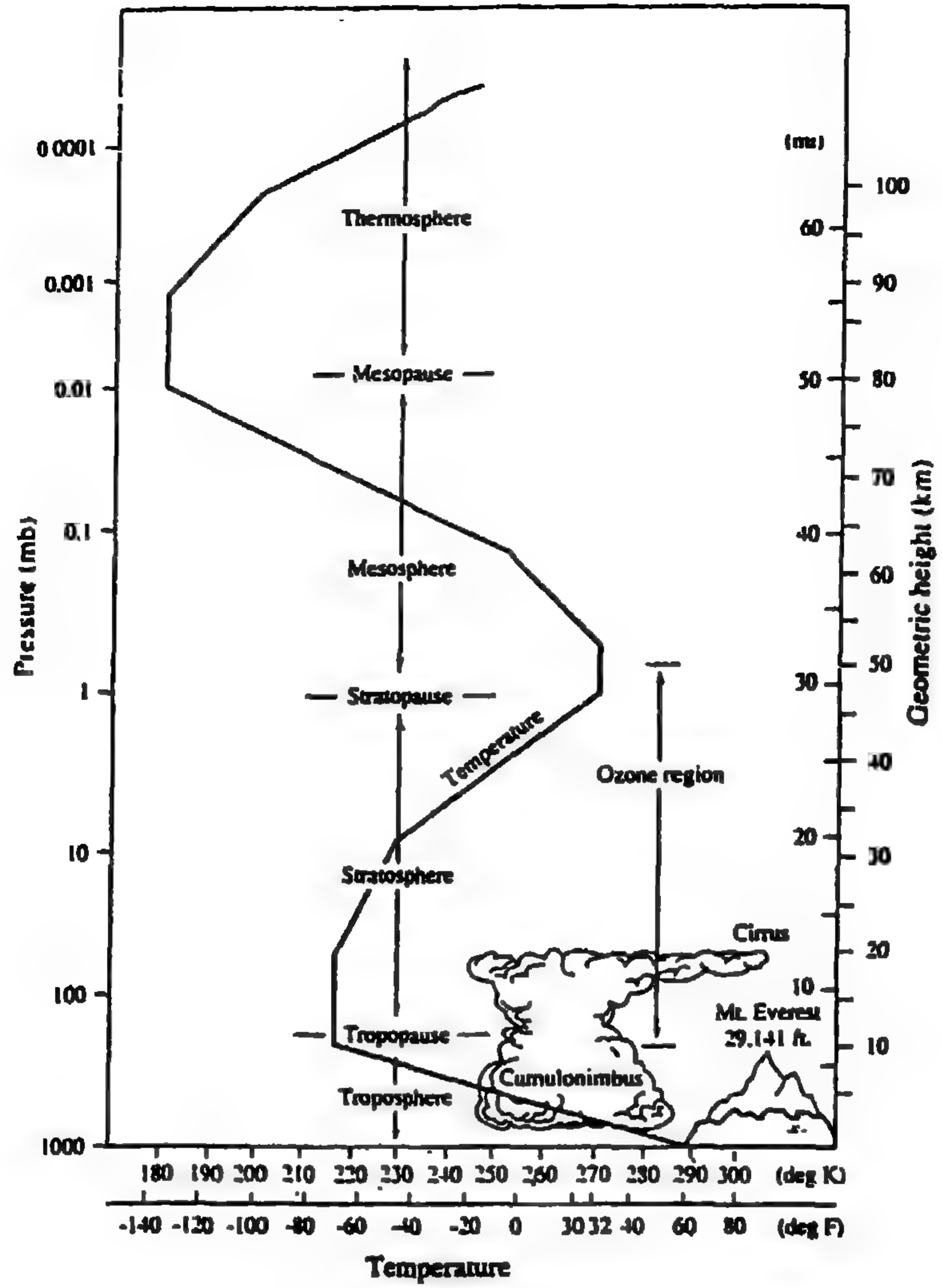
الكيميائية الموجودة، ومقدرة الكائن الحي على أن يمتصها بسهولة أو يتناولها كغذاء، وكذلك تأثير هذه الأصناف الكيميائية على الكائن. وهناك قاعدة أخرى تستحق أن نذكرها في هذا المجال، وهي قاعدة التراكم الحيوي. والمقصود بالتراكم الحيوي هو العملية التي يقوم فيها الكائن الحي بتجميع عنصر ما أو مادة ما بمجرد امتصاصها أو تناولها كغذاء. وفي بعض الحالات يقوم الكائن بتجميع العنصر داخل جسمه بمقدار ثلاثة أو أربعة أو حتى خمسة أضعاف التركيز الموجود به العنصر في البيئة التي يعيش فيها الكائن.

وسوف يتناول هذا الفصل دراسة الصفات المميزة للغلاف الجوي، والغلاف المائي، والأراضي، وهي مكونات بيئتنا حيث يُعدُّ الفهم الجيد لهذه الأنظمة حاسماً وضرورياً في تقويم جودة البيئة.

٢ - ٢ الغلاف الجوي :

نحن نعيش في عصر يزداد فيه الاهتمام بجودة الغلاف الجوي ، وذلك بسبب الزيادة في كميات الملوثات التي تضاف يومياً إلى الهواء الجوي. وتُعدُّ جودة الغلاف الجوي في درجة الأهمية نفسها التي تشغلها جودة المياه وجودة الأراضي ؛ حيث يحيط الغلاف الجوي بالكرة الأرضية على عكس الأراضي والمياه ، ولهذا السبب فإن الغلاف الجوي يلعب دوراً مهماً في عمليات انتقال العناصر والملوثات.

ويتكون الغلاف الجوي من عدة طبقات (التروبوسفير، الستراتوسفير، ميزوسفير، ثرموسفير) ولكل منها خصائصها المميزة. ومن بين الطبقات الأربع السابقة سوف نقوم فقط بدراسة طبقتي التروبوسفير والستراتوسفير اللتين تكونان الجزء السفلي من الغلاف الجوي (صفر - ٥٠ كم)، وذلك راجع إلى أهمية التروبوسفير في العمليات البيوجيوكيميائية وأهمية نور الستراتوسفير في انتقال بعض المواد على مستوى العالم وفي كيمياء الأوزون.



شكل ٢ - ١ تغيرات الضغط ودرجة الحرارة في المناطق المختلفة للغلاف الجوى.

(Schlesinger, 1991.)

ويُبيّن شكل رقم ٢ - ١ توزيع درجات الحرارة والضغط في الجزء السفلى من الغلاف الجوى، ومنه يتضح أن الضغط الجوى دالةً لوغاريتمية تقريبية للارتفاع ؛ فهو يقل بالارتفاع عن سطح البحر.

وتختلف بدرجة حرارة الهواء الجوى بدرجة كبيرة باختلاف الزمن (اليوم، وفصول السنة)، وخط العرض، وخط الطول، وتأتى حرارة الهواء الجوى من الإشعاع الحرارى المنعكس والمنبعث من سطح الأرض ، وهذا هو السر فى أن درجة حرارة التروبوسفير تنقص مع الارتفاع ، بينما يسبب امتصاص الأشعة فوق البنفسجية بواسطة الأوزون فى طبقة الستراتوسفير زيادة فى درجة الحرارة مع الارتفاع. وتُسمى الطبقة الفاصلة بين التروبوسفير والستراتوسفير بطبقة التروبوز ، وهى منطقة ذات درجة حرارة منخفضة تعمل كحاجز وقائى تمنع فقدان الماء إلى طبقة الستراتوسفير حيث يمكن أن يتحلل فيها.

والتركيب الكيميائى للتروبوسفير متجانس تقريباً إلا فى المناطق المتأثرة بتلوث الهواء ، ويحدث خلط فى طبقة التروبوسفير ، وذلك راجع إلى الرياح وارتفاع الهواء الدافئ الذى يتكون بالقرب من سطح الأرض ، ويظل التركيب الكيميائى للستراتوسفير ثابتاً نسبياً مع الزمن بسبب ندرة حدوث الخلط الرأسى.

وللإنسان تأثير كبير على تركيب الغلاف الجوى ؛ فهناك بعض الغازات النادرة التى ازدادت فى الهواء الجوى بسبب أنشطة الإنسان مثل غاز ثانى أكسيد الكربون، والميثان، وأكسيد النيتروز N_2O ، وأول أكسيد الكربون، وغازات الكلورو فلورو كربون (CFCs). وتؤدى هذه الغازات - بصورة مباشرة أو غير مباشرة - إلى زيادة امتصاص الأشعة تحت الحمراء، وعلى ذلك فهى تُكثّف من تأثير الاحتباس الحرارى (تأثير الصوبة) (للمزيد من التفاصيل انظر الفصل العاشر). ومع ذلك فليس واضحاً تماماً فى الوقت الحاضر أن التغيرات المعنوية فى المناخ قد تنتج من الغازات الملوثة ، وبصفة خاصة تلك التى تدخل الغلاف الجوى ، وتنتج عن احتراق الوقود الحفري، وإزالة الكساء النباتى الطبيعى، وانطلاق غازات الكلورو فلورو كربون CFCs، وأنشطة الإنسان المختلفة.

٢ - ٢ - ١ طبيعة وخواص الطبقة السفلى من الغلاف الجوى:

إن المكونات الكيميائية التى تُكوّنُ معظم غازات التروبوسفير هى النتروجين، والأكسجين مع مكونات رئيسية ثانوية مثل : الأرجون، ثانى أكسيد الكربون، بخار الماء. وبالرغم من أن غاز الأوزون قليل جدا فى كميته فإنه مهم جدا بصفة خاصة فى كيمياء الغلاف الجوى المحيط بالأرض. ويمثل جدول ٢ - ١ متوسط تركيب الغلاف الجوى.

ويسبب وفرة النتروجين (٧٨.٠٨٪)، والأكسجين (٢٠.٩٥٪) فى الغلاف الجوى فإن نسبة هذين العنصرين تظل ثابتة نسبيا على مدار الزمن. فى حين أنه يمكن أن تتغير نسبة المكونات الأخرى للغلاف الجوى مع الزمن بسبب زيادة انبعاثها الطبيعى أو الناتج عن النشاط البشرى، وتتجه الملوثات الجوية إلى أماكن فوق المناطق التى تصدر منها مثل المدن، ومحطات توليد الطاقة باستخدام الوقود الحفري. ومع ذلك، فهناك أيضا مصادر طبيعية تنبعث منها الغازات ؛ فالبرك والبيئات اللاهوائية تطلق غاز الميثان وكبريتيد الهيدروجين، كما أن الحرائق تسبب انبعاث غازات أول وثانى أكسيد الكربون، والميثان، وكبريتيد الكريونيل. والعمليات الزراعية مسئولة أيضا وبدرجة جزئية عن انطلاق غازات أول أكسيد الكربون، وأكسيد النتروز الناتجة من زراعة وتسميد الأراضى، كما أن الحيوانات المجترة الأليفة تُنتج بالتقريب ٦٠ - ١٠٠ طن متري من الميثان فى السنة، وهى تبلغ حوالى ١٥٪ من غاز الميثان المنبعث على مستوى العالم.

لقد ازداد تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون بحوالى ٢٥٪ عن معدلاته المقدرة فى مراحل ما قبل الصناعة فى عام ١٨٨٠ تقريبا. وفى الفترة بين عامى ١٩٥٨، ١٩٨٨ ارتفع مستوى غاز ثانى أكسيد الكربون الجوى من ٣١٦ إلى ٣٥٠ جزءاً فى المليون، ويمعدل يزيد عن واحد جزء فى المليون سنويا. وفى ظل النظام المعمول به حالياً، تمّ التنبؤ بأن تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى بداية منتصف القرن الحادى والعشرين سوف يصبح ضعف تركيزه فى عصر ما قبل الصناعة، كما يشير النظام المعمول به حالياً إلى النشاط المستمر فى استخدام الوقود الحفري للحرق، وفى إزالة الغابات

جدول ٢-١ المتوسط العالمي للتركيب الكيميائي للغلاف الجوي

الرمز الكيميائي	الإسم الشائع	النسبة النئوية	الكتلة مقربة (كجم)
-	هواء جاف	١٠٠	١٨ ١٠ x ٥ ١٢
N ₂	نتروجين	٧٨.٠٨	١٨ ١٠ x ٣ ٨٧
O ₂	أكسجين	٢٠.٩٥	١٨ ١٠ x ١ ١٨
Ar	أرجون	٠.٩٣	١٦ ١٠ x ٦ ٥٩
H ₂ O	بخار ماء	٠.١ - ٠.٥	١٦ ١٠ x ١ ٧٠
CO ₂	ثاني أكسيد الكربون	٢-١٠ x ٣ ١٥	١٥ ١٠ x ٢ ٤٥
Ne	نيون	٣-١٠ x ١ ٨٢	١٣ ١٠ x ٦ ٤٨
He	هليوم	٤-١٠ x ٥ ٢٤	١٢ ١٠ x ٣ ٧١
CH ₄	ميثان	٤-١٠ x ١ ٥	١٢ ١٠ x ٤ ٣
H ₂	هيدروجين	٥-١٠ x ٥	١١ ١٠ x ٢
N ₂ O	أكسيد نتروز	٥-١٠ x ٣	١٢ ١٠ x ٢
CO	أول أكسيد الكربون	٥-١٠ x ١	١١ ١٠ x ٦
NH ₃	أمونيا	٦-١٠ x ١	١٠ ١٠ x ٣
NO ₂	ثاني أكسيد النتروجين	٧-١٠ x ١	٩ ١٠ x ٨
SO ₂	ثاني أكسيد الكبريت	٨-١٠ x ٢	٩ ١٠ x ٢
H ₂ S	كبريتيد الهيدروجين	٨-١٠ x ١	٩ ١٠ x ١
O ₃	أوزون	متغيرة	١٢ ١٠ x ٣

Walker , 1977.

المصدر

المعتدلة والاستوائية، ولذلك فمن المتوقع أن تؤدي النسب المتزايدة في الجو من ثاني أكسيد الكربون وغازات الصوبة الأخرى إلى زيادة متوسط درجة الحرارة على مستوى العالم بمقدار ٥ ر ١ - ٥ م فيما بين عام ٢٠٢٥ وعام ٢٠٥٠.

وبالإضافة إلى الغازات الجوية توجد مواد عالقة في الغلاف الجوي، وتتكون من مواد عديدة عضوية وغير عضوية في حالة سائلة أو صلبة ؛ فالمواد الحيوية مثل الفيروسات، والبكتريا، والجراثيم، وحبوب اللقاح يمكن تصنيفها بأنها مواد عالقة أيضا طالما أنها معلقة في الجو ، وعادة تكون المواد العالقة أصغر من ٥ ر. م في الحجم، ويمكن أن تنتج من مصادر عديدة سواء طبيعية أو من نشاط الإنسان، وتستطيع الحبيبات الأقل من واحد ميكرومتر (1Um) أن تبقى معلقة في الجو كما يمكنها أن تنتقل لمسافات طويلة. أما الحبيبات ذات المدى ١..١ ر. - ١٠ ميكرومتر (Um) فتنتشر في مناطق مصادر التلوث وحولها مثل المدن، والطرق السريعة، والمراكز الصناعية، ومحطات الطاقة ، وتقل الرياح بدرجة كبيرة تركيز هذه المواد في المسافات القريبة من مصادرها الأصلية.

كما يمكن أن تنشأ الحبيبات المحمولة بواسطة الهواء من الانفجارات، ومن تكسر المواد بفعل الطحن، ومن نشاط البراكين، وكذلك من السحل بفعل الرياح. ويعتمد التعدين السطحي على المتفجرات في تفكيك الصخور (شكل ٢ - ٢) لغرض إزالتها أو معالجتها. وتنتج كميات كبيرة من المواد العالقة بفعل التعرية بالرياح في المناطق الجافة وشبه الجافة، وكمثال على ذلك فقد قُدِّر أن حبيبات التربة المحمولة بواسطة الرياح من المناطق الجافة تسهم بمقدار 10^{10} جرام من المواد العالقة في الغلاف الجوي سنويا. ومن بين هذه الكمية نجد أن ٢٠٪ منها يكون أقل من واحد ميكرومتر، وهذه الكمية يمكنها الانتقال بسهولة لمسافات بعيدة.

وتدخل العناصر النادرة إلى الغلاف الجوي عن طريق عمليات عديدة ؛ فاحتراق الوقود الحفري والفحم، وانصهار الحديد والمعادن الأخرى غير الحديدية، ورماد البراكين، والتعرية بالرياح ، جميعها عمليات مسئولة عن زيادة تركيزات هذه العناصر النادرة مثل: الذهب، البرومين، الكاديوم، الرصاص، السليسيوم، القصدير، التيلوريوم



شكل ٢ - ٢ صورة للمواد العالقة المنطلقة بعد انفجار مواد التفجير أثناء عملية التعدين السطحي للفحم ، وتستخدم مواد التفجير لتفكيك الطبقات السطحية التي يجب أن تزال من أجل تعدين مترسبات الفحم.

بمقدار أربعة أضعاف التركيزات العادية، كما أن هذه العناصر النادرة يمكن أن تتراكم داخل أجسام النباتات والكائنات الدقيقة، وهذا بالتالي من الممكن أن يزيد من التأثيرات الضارة لها، وسوف نناقش تأثيرات هذه العناصر النادرة لاحقاً في الفصل السابع.

٢ - ٢ - ٢ دورات الغلاف الجوى :

هناك دورات للعديد من العناصر والمركبات فى الغلاف الجوى، وتمثل هذه الدورات جزءاً من تحولها الكلى وانتقالها بين الأنظمة البيئية للتربة، والغلاف المائى، والغلاف الحيوى، وتشمل بعض هذه العناصر المهمة الكربون، والنتروجين، والفوسفور،

والكبريت ، وستناقش دورات النتروجين والفوسفور والكبريت فى الفصل الرابع والخامس والسادس على التوالى. وسوف نقدم فى الفصل العاشر معلومات عن دورة ثانى أكسيد الكربون ودوره فى تأثير الاحتباس الحرارى أو الصوبة. وفى هذا الجزء سوف نذكر أسس الدورات المهمة فى الغلاف الجوى، ونعطى معلومات عامة تساعد المرء على فهم التفاعل بين مكونات الأرضى، والمياه، والغلاف الجوى، والغلاف الحيوى.

يلعب الأكسجين دوراً مهماً فى دورات العناصر (مثل: الكربون، النتروجين، الفوسفور، الكبريت) ، وهو - أى الأكسجين - العنصر الرئيسى فى العمليات التى تتم فى الغلاف الجوى، وكذلك فى العمليات الجيوكيميائية والعمليات الحيوية، ويوضح شكل ٢ - ٣ بعض التفاعلات الكيميائية والتيارات المختلفة التى تشملها دورة الأكسجين ، ويمثل الأكسجين الجوى (1.8×10^{21} جم) أكبر مصدر للأكسجين، وهو فى الوقت الحالى فى حالة ثبات ، وذلك راجع إلى التوازن فى عمليات الاستهلاك وعمليات الإنتاج. ويستهلك الأكسجين فى عمليات التنفس وعمليات تحلل المادة العضوية، وينتج الأكسجين خلال عملية التمثيل الضوئى ، ويقال إن كل الأكسجين الموجود فى الغلاف الجوى قد تم تدويره خلال الكائنات التى تقوم بعملية التمثيل الضوئى مثل النباتات وبعض الكائنات الدقيقة، وتوجد كمية كبيرة من الأكسجين فى الليثوسفير فى صور مختزلة، وهو ينطلق ببطء عن طريق تفاعلات التجوية، ويستهلك الأكسجين أيضاً خلال عمليات احتراق الوقود الحفري، والتحلل الهوائى والتجوية المؤكسدة للأرضى والصخور والمعادن.

يتم التحكم فى كل من دورتى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون بدرجة كبيرة بواسطة الكائنات الحية ، ويرتبط معدل تدوير أو عمر الأكسجين وثانى أكسيد الكربون بعمليات التمثيل الضوئى والتنفس ، ويختلف الزمن اللازم لتدوير الأكسجين وثانى أكسيد الكربون فى الهواء الجوى بسبب حجم كمية كل منهما. على أن ما يسمى متوسط زمن البقاء (MRT) Mean Residence Time يقصد به الزمن الذى تأخذه مادة ما لكى يتم تدويرها خلال نظام محدد ، ويبلغ متوسط زمن البقاء (MRT) للأكسجين الجوى

حوالى ٢٠٠٠ سنة ؛ حيث يتم تدويره خلال الغلاف الحيوى، بينما تبلغ قيمته لثانى أكسيد الكربون حوالى ٥ سنوات فقط.

وتعتبر الدورات البيوجيوكيميائية للعناصر الغذائية والعناصر النادرة معقدة جداً، ويتم دراستها عن طريق فحص أو دراسة نظم بيئية فردية (مثل: الليثوسفير، الهيدروسفير، الغلاف الجوى، الغلاف الحيوى).

وفى هذا المجال تشمل موضوعات الدراسة الأساسية معدلات التحول، ومتوسط زمن البقاء (MRTs)، ومصير العناصر فى واحد أو أكثر من الأنظمة البيئية المختلفة. ولقد اهتمت دراسات عديدة بتأثير نشاط الإنسان على الدورات البيوجيوكيميائية بغرض التعرف على ما يخبئه لنا المستقبل.

٢ - ٣ الغلاف المائى :

يشمل الغلاف المائى مياه الأنهار، والجداول، والبحيرات، والمحيطات، ويشمل أيضاً الماء الأرضى، والمياه الجوفية، والثلاجات، والجليد الموجود عند القطبين (جدول ٢ - ٢). وبالرغم من أن حوالى ٧٠٪ من سطح الكرة الأرضية مغطى بالمياه فإن هناك كميات هائلة من المياه مدفونة تحت الأرض. وعلاوة على ذلك فإن أكبر مصدر للمياه هو المحيطات، يليها الجليد (القطبى والثلاجات)، ثم تاتى بعد ذلك المياه الجوفية، وتمثل المياه العذبة والبحيرات المالحة والبحار الداخلية أكبر مصادر للمياه السائلة على الأرض إلى جانب الأنهار والجداول التى تكون جزءاً بسيطاً من مياه العالم ، كما تبلغ كمية المياه المحتجزة فى الأراضى حوالى خمسين ضعف كمية مياه الأنهار والجداول. وبالرغم من احتواء الغلاف الجوى على جزء صغير فقط من المياه الموجودة فى المصادر الأخرى، فإن كمية المياه التى تمر خلال الهواء الجوى تعد كمية ضخمة جداً وغاية فى الأهمية.

تسمى دراسة الخواص الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية وتفاعلات المياه بعلم الهيدرولوجى، ويختص علم المياه العذبة بدراسة نظم الماء العذب، ويختص علم المحيطات بدراسة المحيطات، وعلم المناخ بدراسة المناخ والطقس، وهذا الأخير يعتمد بدرجة كبيرة على المياه الموجودة فى الغلاف الجوى، كما يقوم علم الجيوهيدرولوجى

بدراسة المياه فى النظم الجيولوجية مثل بيئة الطبقات الصخرية المائية والمياه الجوفية ، ويدرس علماء الأراضى الخواص الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية لنظم بيئة التربة، والتي يلعب الماء فيها دوراً رئيسياً.

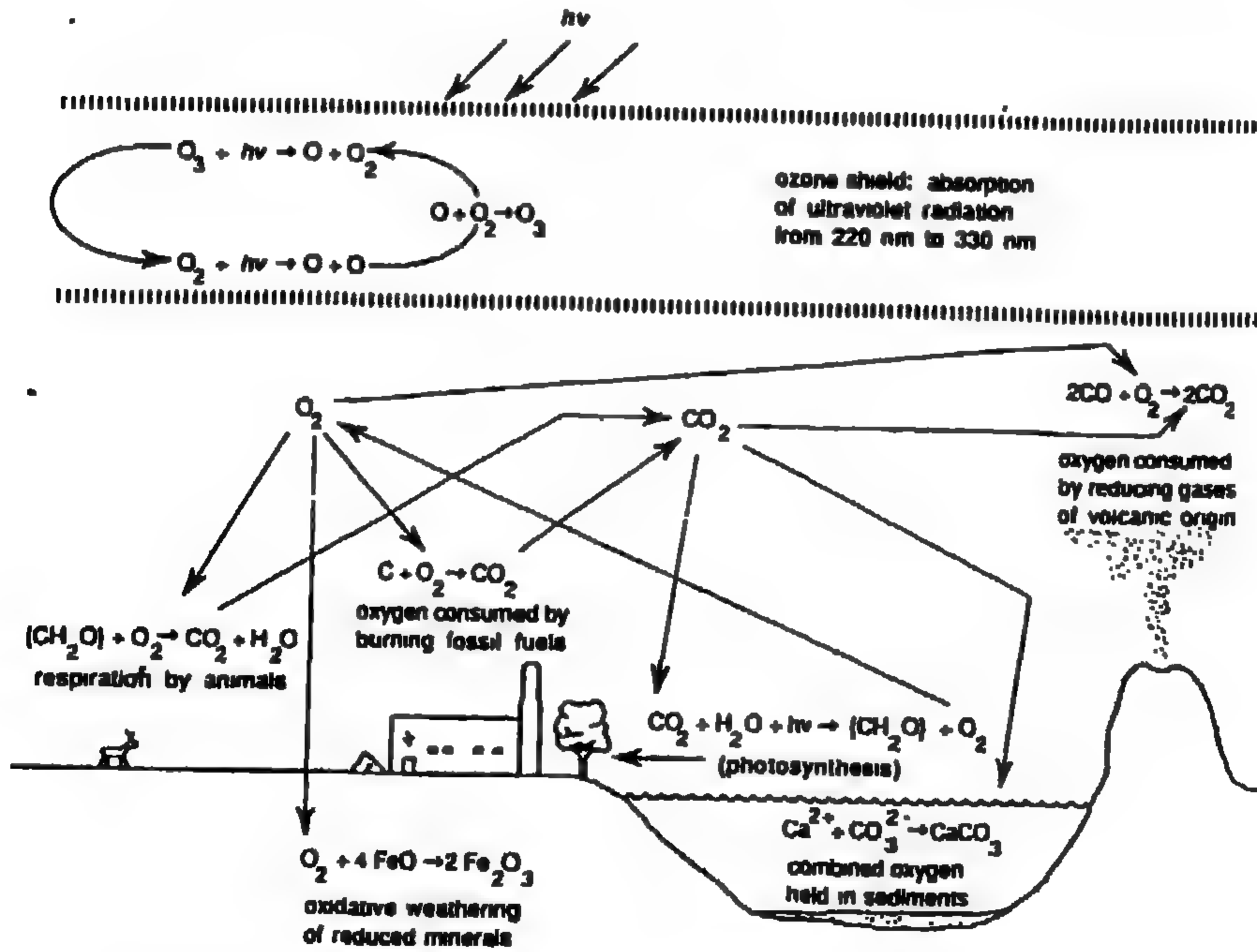
ويدلُّ تلوث المياه على حدوث تدهور أو نقص فى جودة المياه، ويمكن الاستدلال على ذلك عن طريق التحاليل الكيميائية، أو الفيزيائية، أو البيولوجية، والتي يعتمد تقديرها عادة على الغرض المقصود من استخدام المياه ، ويحدث تلوث المياه عن طريق دخول مادة مافى النظام المائى بطريق مباشر أو غير مباشر ، وتشمل معظم الملوثات الشائعة عناصر نادرة، وعناصر غذائية، ومخلفات بترولية، وياثوجينات، ومبيدات. وبالرغم من أن المادة العضوية المعلقة والرواسب توجد، بصفة عامة، فى معظم الجداول والبحيرات، فإن هذه المواد تسبب تدهوراً فى جودة المياه عن طريق زيادة الاحتياج الحيوى للأكسجين BOD أو عن طريق نقص اختراق الضوء بسبب زيادة عكارة المياه ، كما أن التغيرات فى درجة حرارة المياه بسبب صرف المياه الساخنة فيها من محطات الطاقة والمصانع يمكن أن تغير التنوع البيولوجى فى الأنهار والبحيرات.

وتعتبر جودة المياه حالياً - ومستقبلاً - مشكلة بيئية ومشكلة اقتصادية كبيرة، وتعد عملية التشبع الغذائى Eutrophication مثلاً يعبر عن أهمية جودة المياه، وتحدث هذه العملية فى البحيرات والأنهار عندما تضاف إلى النظام البيئى كميات زائدة من العناصر الغذائية مثل النتروجين والفوسفور، وكلما يزداد العنصر الغذائى المضاف إلى سطح المياه تدريجياً، تمرُّ الحالة الغذائية للمياه بأربع مراحل متتالية هى: مرحلة التغذية الناقصة Oligotrophic ، ومرحلة التغذية المتوسطة Mesotrophic ، ومرحلة التغذية المشبعة أو الزائدة Eutrophic ، ومرحلة التغذية فوق المشبعة أو الزائدة Hypereutrophic. وعند كل مرحلة تحدث تغيرات متقدمة فى بيئة المياه، وعادة يكون تأثيرها سلبياً فى حالة استخدام المياه فى أغراض اقتصادية أو استجمامية. ويمكن أن تؤدى الإضافات المتزايدة للعنصر الغذائى إلى سطح المياه إلى تشجيع نمو الطحالب، ونقص الأكسجين الذائب، ونقص شفافية المياه (جدول ٢ - ٣). ويمثل (جدول ٢ - ٤) ملخصاً لبعض مشاكل جودة المياه المرتبطة بعملية التشبع الغذائى. ولزيد من الاطلاع راجع الفصل الرابع والفصل الخامس عن دور النتروجين والفوسفور فى عملية التشبع الغذائى.

٢ - ٣ - ١ خواص المياه :

الماء ضرورى لجميع صور الحياة على الأرض، وهو المكون الرئيسى أو المكون المركزى للعديد من العمليات الكيميائية والفيزيائية التى تحدث فى الأراضى ؛ فالتلج يمكنه - بعملية فيزيائية - تكسير الصخور إلى حبيبات صغيرة، والأخيرة يمكن بعد ذلك أن تخضع لعمليات التجوية الكيميائية .. ونوبان معادن التربة، وانتقالها عبارة عن عمليات مستمرة تحدث عن طريق الغسيل بواسطة المياه خلال بيئة التربة. وفى المناطق ذات المطر القليل تكون تجوية وانتقال المكونات الذائبة بطيئة نسبيا، وذلك بالمقارنة بما يحدث فى المناطق عالية الأمطار، كما يزداد انتقال الملوثات من الأراضى إلى المياه الجوفية أو السطحية بزيادة كمية المياه التى تنفذ خلال التربة.

والماء - الذى يُشار إليه غالباً على أنه مذيب عام - ضرورى لانتقال العناصر الغذائية، والغازات، والمركبات العضوية فى الكائنات الحية. ويوضح جدول (٢ - ٥)



شكل ٢ - ٢ أمثلة للتفاعلات المختلفة للأكسجين وثانى أكسيد الكربون التى تحدث فى البيئة.

(Manahan , 1991.)

بعض الخواص الفريدة للماء، ويرجع كثير من هذه الخواص إلى التركيب الجزيئي للماء وقدرته على تكوين روابط هيدروجينية تسمح لجزيئات الماء لأن تتداخل أو تتفاعل مع بعضها البعض، وتكون مجموعات أو بلورات سائلة، وتعطى هذه التفاعلات للماء خواصاً فريدة تميزه عن جزيئات أخرى ذات حجم ووزن مشابه. على سبيل المثال، يتحول الميثان (وزنه الجزيئي ١٦) من غاز إلى سائل عند - ٥٥ °م ومن سائل إلى صلب عند - ١٨٢ م.

٢ - ٣ - ٢ مكونات الدورة الهيدرولوجية :

إن انتقال أو تحرك الماء من بيئة إلى أخرى يتحكم في الدورة الهيدرولوجية (شكل ٢ - ٤) ؛ فيدخل الماء إلى الهواء الجوى أساساً عن طريق عمليات التبخر والتج ، ويعود إلى المحيطات و سطح الأرض في صورة مطر أو جليد ، ويوضح شكل (٢ - ٥) معدل الماء المنقول من بيئة لأخرى ، والذي يسمى معدل تدفق الماء Water Flux وطبقاً لهذا الشكل فإن كمية الماء التي تترك أحد مصادر المياه يتم تعويضها بكمية الماء الداخلة إليه، والمعدلات الموضحة في الرسم عبارة عن تقديرات لمعدل تدفق الماء في الوقت الحالي، وهي قد تغيرت خلال مرحلة تطور الأرض.

يمكن حساب متوسط زمن البقاء MRT للماء في البيئات المختلفة إذا افترضنا أن الداخل منه للبيئة مساوياً للخارج منه، وإذا عرفنا كتلة الماء في البيئة وكذلك معدل دخول وخروج الماء من البيئة (متوسط زمن البقاء = الكتلة ÷ معدل التدفق). وباستخدام البيانات في جدول ٢ - ٢ وشكل ٢ - ٥ يمكن حساب متوسط زمن بقاء الماء في البيئات المائية المختلفة. ويكون متوسط زمن بقاء الماء في الغلاف الجوى كالتالي:

$$\text{متوسط زمن بقاء الماء في الغلاف الجوى} = ١٣٠٠٠ \text{ كم}^٣ \div ٤٩٦٠٠٠ \text{ كم}^٣ \text{ سنة}^{-١}$$

$$= ٠.٢٦ \text{ سنة أو } ٩٠.٥ \text{ يوماً} \dots (٢ - ١).$$

جدول ٢-٢ نسبة الماء فى المصادر المختلفة للغلاف المائى

النسبة النئوية	المحتوى (ك . م٣)	المصدر
		أجسام مائية
٩٧.٢	١ ٣٢٠	المحيطات
٠.١ >	١٢٥ . . .	البحيرات العذبة
٠.١ >	١.٤ . . .	البحيرات المالحة والبحار الداخلية
٠.١ >	١ ٣٠٠	الأنهار والجداول
		مصادر ثلجية
٢.٢	٢٩ ٢٠٠	الجليد القطبى والثلجات
		الغلاف الأرضى
٠.١ >	٦٧ . . .	الماء الأرضى
٠.٦	٨ ٣٥٠	المياه الجوفية
٠.١ >	١٣ . . .	الغلاف الجوى

Goldman and Horne, 1983.

المصدر:

والمعدل السريع الذى يتحرك به الماء من الأرض إلى المحيطات يؤدي إلى متوسط زمن بقاء الماء فى الجداول والأنهار كالتالى:

$$\text{متوسط زمن بقاء الماء فى الجداول والأنهار} = \frac{13000 \text{ كم}^3}{40000 \text{ كم}^3 \text{ سنة}^{-1}} = 0.33 \text{ سنة أو } 12 \text{ يوماً} \dots (2-2).$$

ويوضح كل من المثالين السابقين المقدار الكبير لحساسية هذه الأنظمة ، حيث إن أى ملوث قابل للنويان فى الماء يدخل هذه الأنظمة يمكنه أن ينتقل بسرعة إلى نظام آخر خلال فترة زمنية قصيرة ، ويكون احتمال تلوث نظام معين بمادة ما له علاقة بمتوسط زمن بقائها فى هذا النظام . وعلى ذلك ، فإذا دخل إلى النهر ملوث ما بسبب حادثة ، ولو كان متوسط زمن بقاء هذا الملوث صغيراً فإنه سينتقل بسرعة إلى نظام آخر أو بيئة أخرى . وإذا كان متوسط زمن بقاء الملوث أكبر فى النظام الجديد أو البيئة المستقبلية ، فسوف يبقى الملوث فى هذه البيئة الجديدة مدة زمنية أطول من سابقتها ، وفيما يلي مقارنة بين الحالتين :

متوسط زمن بقاء الماء فى المحيط

$$= 2200000000 \text{ ر } 1 \text{ كم}^3 \div 485000 \text{ كم}^3 \text{ سنة}^{-1} = 3100 \text{ سنة} \quad (2-3)$$

بينما يتراوح متوسط زمن بقاء الماء فى أنظمة البحيرات والمياه الجوفية من عشرات إلى مئات أو آلاف السنين على الترتيب.

٢ - ٣ - ٢ - ١ الأراضى :

تحتفظ الأراضى بالمياه فى الفراغات البينية بواسطة قوى التماسك وقوى الالتصاق بين جزيئات الماء وسطوح حبيبات التربة، وتنشأ قوى التماسك نتيجة قطبية جزيء الماء والرابطة الهيدروجينية التى تجذب جزيئات الماء إلى بعضها البعض، بينما قوى الالتصاق هى المسئولة عن جذب جزيئات الماء إلى سطوح معادن التربة أو المادة العضوية، وتسمح هذه القوى للماء أن يتحرك إلى أعلى فى الأراضى بواسطة الخاصية الشعرية أو بموازاة أو بطول سطوح حبيبات التربة فى صورة أغشية أو أغلفة مائية.

جدول ٢-٣ مقارنة بين صفات مياه ناقصة التغذية وأخرى كافية التغذية
(مشبعة)

الصفة	ناقصة التغذية	كافية التغذية
حالة العنصر	منخفضة	عالية
الطحالب	نادرة	شائعة
كثافة الكتلة الحيوية	منخفضة	عالية
التنوع المائي	عالي	منخفض
الأكسجين الذائب (نسبة التشبع)	$80 <$	$10 >$
الفوسفور الكلي (ميكروجرام/ لتر)	$10 - 4$	$20 <$
النيتروجين الكلي (ميكروجرام/ لتر)	$200 >$	$500 <$
الكلوروفيل (مجم/ لتر)	$3 - 1$	$8 <$
العكارة (م)	$12 - 6$	$2 >$

جدول ٢- ٤ مشاكل جودة المياه المرتبطة بعملية التشبع الغذائي

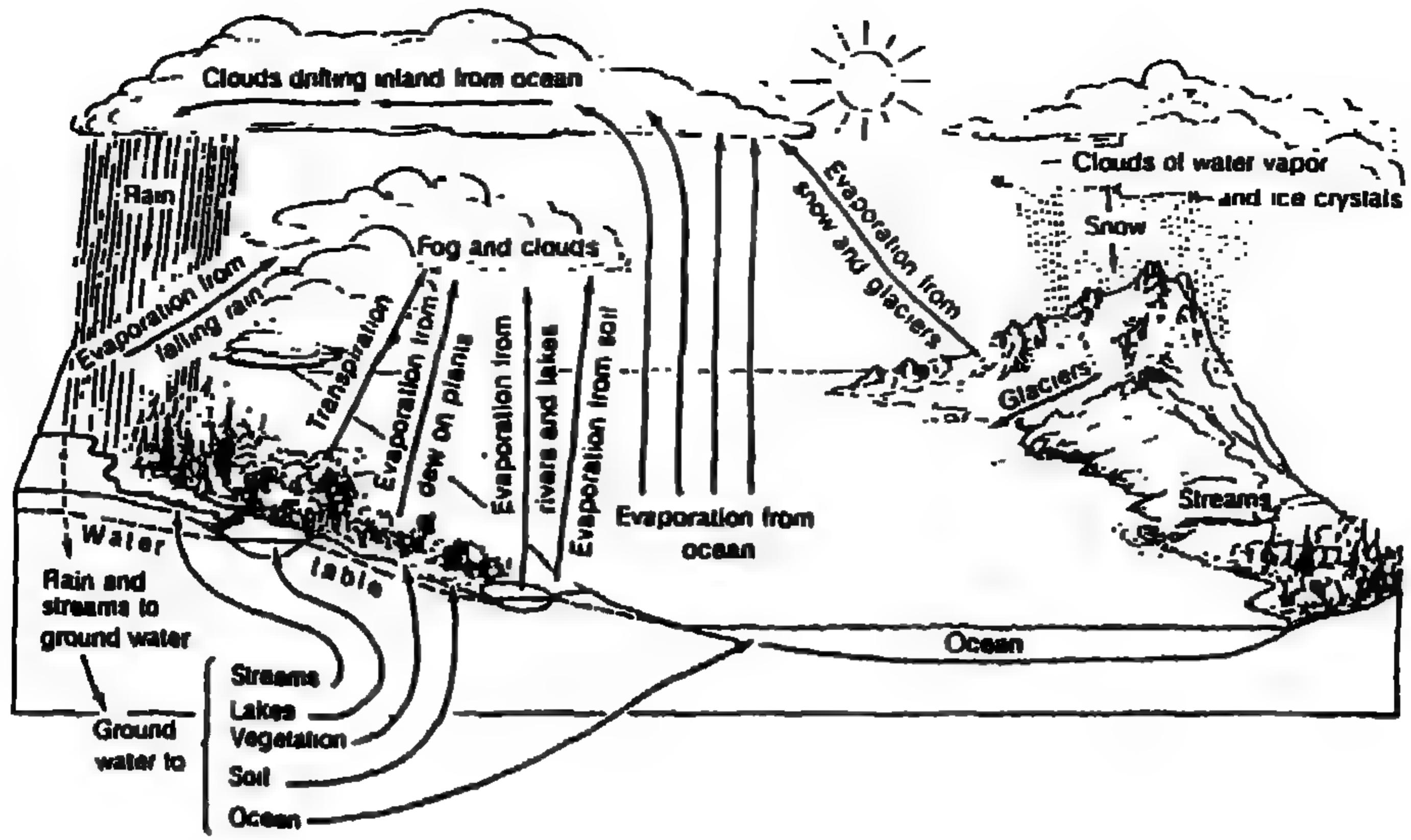
العوامل المساهمة من التشبع الغذائي	مشاكل جودة المياه
<p>العناصر الغذائية، الرواسب المعلقة تؤدي إلى تدهور جودة المياه وتزيد تكلفة وصعوبة تنقية مياه الشرب ، ظروف نقص الأكسجين والتوكسينات الناتجة في مناطق الطحالب يمكن أن تسبب قتل الأسماك وتجعل المياه غير مأمونة للطيور والحيوانات.</p> <p>تشجيع نمو كائنات معينة يؤدي إلى نقص في أعداد وحجم أنواع أخرى ، ومع مرور الزمن تسود في البحيرة الطحالب وتختفي الأسماك الكبيرة السريعة النمو، والأسماك عالية الجودة الصالحة للأكل، والنباتات الكبيرة المغمورة، والكائنات القاعية.</p> <p>تؤدي زيادة الرواسب إلى تقليل عمق البحيرة، كما يسد النمو الخضري الزائد ممرات الملاحاة ، ويؤدي تحلل النفايات السطحية للكتلة الحيوية للطحالب إلى زيادة أعداد الحشرات.</p>	<p>سلامة المياه، الطعم، الرائحة</p> <p>التنوع البيولوجي المنخفض</p> <p>إفساد استخدام المياه للاستجمام والملاحاة</p>

جدول ٢- ٥ خواص الماء وأهميتها.

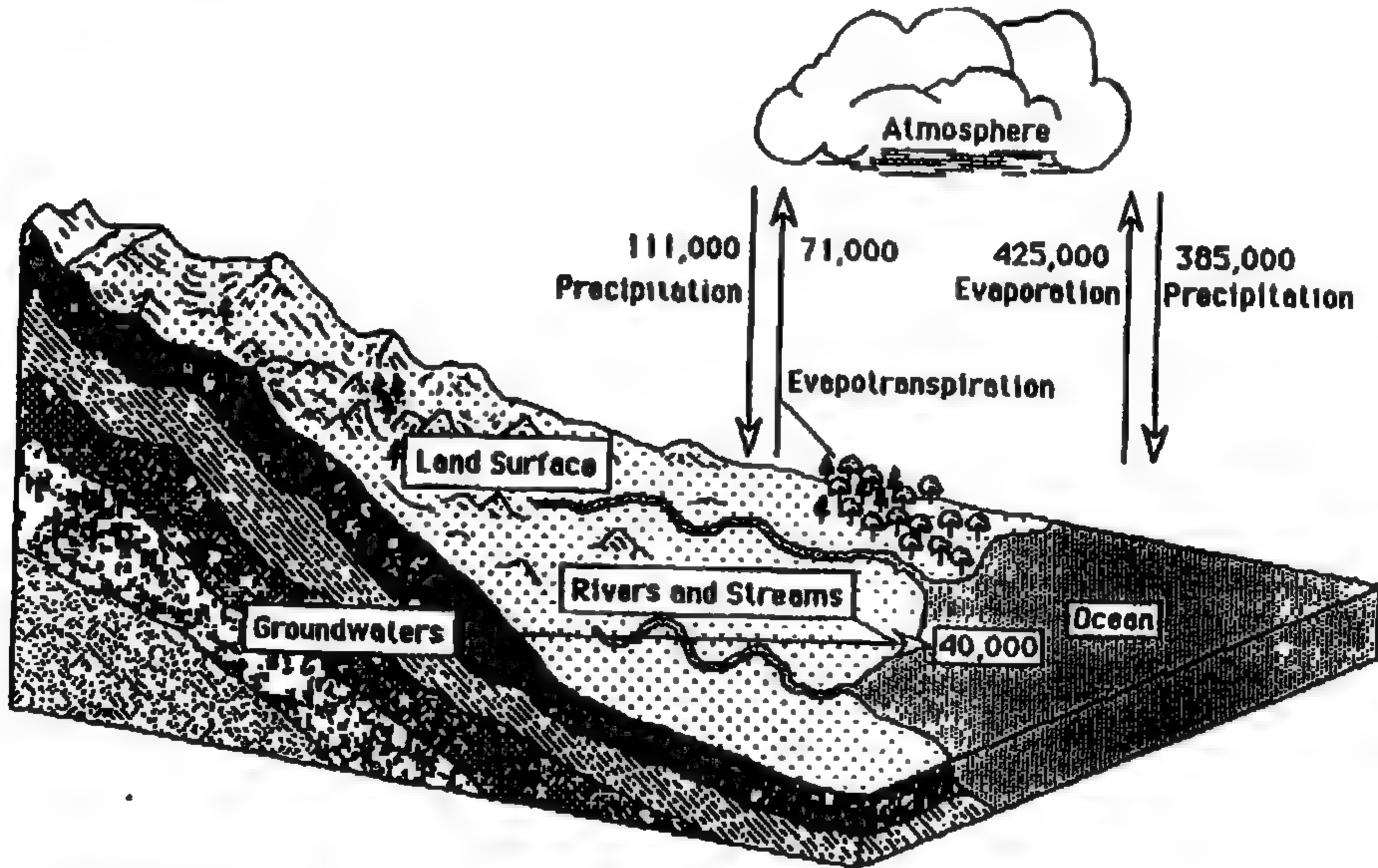
الخاصية	الأهمية	ملاحظات
مذيب	ضرورة لعمليات كثيرة بيوكيميائية، وكيميائية جيولوجية، وجوية.	مادة دائمة
الكثافة	تسمح للثلج أن يطفو على الماء.	العظمى عند ٤°م.
ثابت العازل الكهربائي	أسباب لذوبان معظم المواد الأيونية في الماء، ولو جزئياً.	الأعلى بين جميع السوائل المائية النقية.
التوتر السطحي	يُنتج قوى جذب غير متساوية بين طورين.	الأكبر بين جميع السوائل المائية.
حرارة التبخير	تتحكم في معدل انتقال الحرارة والماء بين الماء والهواء الجوي.	الأعلى بين جميع المواد.
الحرارة الكامنة للانصهار	تثبت تغير الحرارة عند نقطة التجمد.	الأعلى بين جميع السوائل المائية ماعدا الأمونيا.
السعة الحرارية	توازن التغيرات في درجة الحرارة.	الأعلى بين جميع السوائل المائية ماعدا الأمونيا.
النفذية	تسمح بمرور ضوء الشمس إلى أعماق كبيرة في المياه حيث تحتاجه الكائنات التي تقوم بالتمثيل الضوئي	مادة عديمة اللون

Manahan , 1991.

المصدر:



شكل ٢ - ٤ إيضاح المصادر المختلفة وعمليات التحول التي تحدث في الدورة الهيدرولوجية.
(Gilluly , et al. 1975.)



شكل ٢ - ٥ معدلات التحول (ك. م. ٢) لحركة الماء في الدورة الهيدرولوجية على مستوى العالم.
(Spiedel and Agnew , 1982.)

ولقد استخدمت مصطلحات عديدة لوصف ماء التربة، بما فى ذلك المحتوى الرطوبى والجهد المائى.

المحتوى الرطوبى : هو مقياس للماء فى التربة وعادة يعبر عنه فى صورة نسبة مئوية، ويُقدَّر محتوى الرطوبة فى التربة عن طريق وزن كُلٍّ من الماء والمادة الصلبة فى عينة التربة، ويمكن قياس وزن أى منهما فى المعمل باستخدام الفرن والميزان، وتحسب نسبة الماء فى التربة كالاتى:

$$\text{المحتوى الرطوبى للتربة \%} = \frac{[(\text{وزن التربة الرطبة} - \text{وزن التربة الجافة فى الفرن}) \div \text{وزن التربة الجافة فى الفرن}] \times 100}{\dots (2 - 4)}$$

الجهد المائى للتربة: هو مقياس للقوة أو الطاقة التى يمسك بها الماء بواسطة التربة، ويتحرك الماء فى الأراضى من المناطق ذات الجهد المائى العالى إلى المناطق ذات الجهد المائى المنخفض، وبالتالي فإن الجهد المائى يرتبط بكل مما يلى:

محتوى التربة من الرطوبة، قوام التربة، بناء التربة، محتوى التربة من الأملاح، ومحتواها من المادة العضوية. أما الجهد المائى للطين أو للأراضى الطينية فإنه أقل منه للرمل أو للأراضى الرملية عندما يحتوى الاثنان على المحتوى الرطوبى نفسه.

الجهد المائى الكلى: هو التأثير الإجمالى الذى يعزى إلى جميع الجهود المختلفة للماء فى التربة وأهمها: جهد النسيج، جهد الضغط، جهد الجاذبية الأرضية، جهد المذاب.

جهد النسيج: (يعرف أيضا بأنه جهد الشد أو الجذب) وهو محصلة تفاعل الماء مع سطوح التربة (قوى الالتصاق) وميل المسام الصغيرة إلى الاحتفاظ بالماء بقوة أكبر مما تفعله المسام الكبيرة (قوى التماسك). وفى الأراضى جيدة الصرف والتى تحتوى على أملاح ذائبة قليلة، فإن جهد الماء فى هذه الأراضى يساوى تقريبا قيمة جهد النسيج.

أما جهد الضغط وجهد الجاذبية الأرضية فيرتبطان بالقوى الخارجية التي يتعرض لها الماء الأرضي. ويعزى جهد الضغط إلى التأثيرات الناتجة عن ضغط الهواء الجوي أو ضغط الغازات، بينما يعزى جهد الجاذبية الأرضية إلى قوة سحب الجاذبية الأرضية للماء الأرضي.

أما جهد المذاب أو الجهد الإسموزي فيعود إلى حركة الماء من المحلول المخفف إلى المحلول المركز.

يتحرك الماء في الأراضي في صورة بخار (صورة غازية) أو في صورة سائلة، ويعتبر سريان البخار خلال التربة عملية بطيئة. ويوجد بخار الماء في جميع الأراضي غير المشبعة، ويتحرك بخاصية الانتشار في داخل التربة، وذلك بسبب التدرج في ضغط البخار ودرجة الحرارة. ويُقسَّم حركة الماء الأرضي إلى سريان مشبع أو سريان غير مشبع، وذلك يتوقف على محتوى التربة من الرطوبة، ويحدث السريان المشبع في الأراضي عندما تكون الفراغات البينية الكبيرة والدقيقة ممتلئة بالماء، ويمكن أن تصبح طبقات تحت السطح مشبعة عندما تكون حركة الماء محدودة، كما يحدث في الأراضي التي يكون مستوى الماء الأرضي فيها عالياً أو توجد فيها طبقة طينية صماء، أو في الأراضي الطباقية، ويحدث السريان غير المشبع في الأراضي عندما تمتلئ الفراغات البينية جزئياً بالماء، وفي كل من الحالتين (المشبعة وغير المشبعة) يكون سريان الماء دالة للقوة الدافعة الواقعة على الماء (التدرج الهيدروايكي)، ولقدرة التربة على السماح بحركة الماء (التوصيل الهيدروايكي).

أما عن الماء الذي يدخل في التربة فإنه يمكن أن يخزن فيها، أو ينتقل إلى الأنهار والجداول والبحيرات والمحيطات، أو يصبح جزءاً من الماء الجوفي. ويحدث سريان ماء المطر على السطح، عندما لا تستطيع الأراضي امتصاص ماء المطر الساقط بسبب بطء معدل رشح الماء فيها، أو عندما تصبح التربة مشبعة، ويمكن أن يعود الماء الذي يسقط على سطح الأراضي إلى الغلاف الجوي بواسطة عمليات البخر - نتح، والتي هي عبارة عن جمع لعمليتي البخر الحادث من سطح التربة أو سطح

النبات والفتح الحادث من النبات، ويمكن أن يؤدي سريان ماء المطر على السطح إلى سحل التربة (انجرافها)، وحدوث تلوث عن طريق انتقال حبيبات التربة المحتوية على عناصر غذائية وأحياناً مبيدات.

٢ - ٣ - ٢ - ٢ المياه السطحية الداخلية :

تشمل المياه السطحية الداخلية الجداول والأنهار والبحيرات. وبصفة عامة، فإن الماء الداخل في البحيرات يأتي من المنطقة المحيطة بها، وبذلك تُعرف البحيرة بأنها حوض صرف للمنطقة، وتشمل مصادر الماء الداخلة إلى الجداول والأنهار: ماء المطر الساقط، ماء المطر الجارى على سطح الأرض خلال فترات المطر الغزير، الماء الموجود تحت سطح التربة، وتحدث له حركة جانبية بسبب الطبوغرافيا أو الطبقات الممتدة المختلفة القوام، وكذلك تشمل الماء المخزون في مناطق الأراضي الرطبة المجاورة، والمياه الجوفية، وهناك عوامل تؤثر على كمية وجودة الماء في المياه السطحية الداخلية، منها عوامل طبيعية هي: المناخ، الكساء الخضرى، الفيزيوجرافيا، الجيولوجيا، ومنها عوامل بشرية كالتحضر، والزراعة، وإزالة الغابات.

وتوجد أنواع عديدة من المواد التي تؤثر على جودة المياه، وهي تشتمل على مواد غير عضوية، وعضوية، وبيولوجية. ولبعض هذه المواد تأثير مباشر على جودة المياه، بينما يوجد للبعض الآخر تأثير غير مباشر يحدث تغييرات كيميائية أو فيزيائية أو حيوية ؛ فالمواد التي تؤثر على جودة المياه - والتي سوف نناقشها لاحقاً في هذا الكتاب - تشمل: النتروجين، الفوسفور، الكبريت، العناصر النادرة، المبيدات، المطر الحامضى، غازات الصوبة. أما الملوثات الأخرى الإضافية مثل: الأنوية المشعة، السرطنات ، الكائنات الدقيقة الممرضة، ومخلفات البترول ؛ فهي مهمة في جودة البيئة، وسوف يتم تغطيتها أيضاً في هذا الكتاب، ولكن بدرجة محدودة.

وعندما تضاف مواد عضوية، مثل حمأة المجارى، إلى المياه السطحية، يحدث نقص سريع في الأكسجين الميسر؛ حيث يستهلك الأكسجين في التحلل البيولوجي

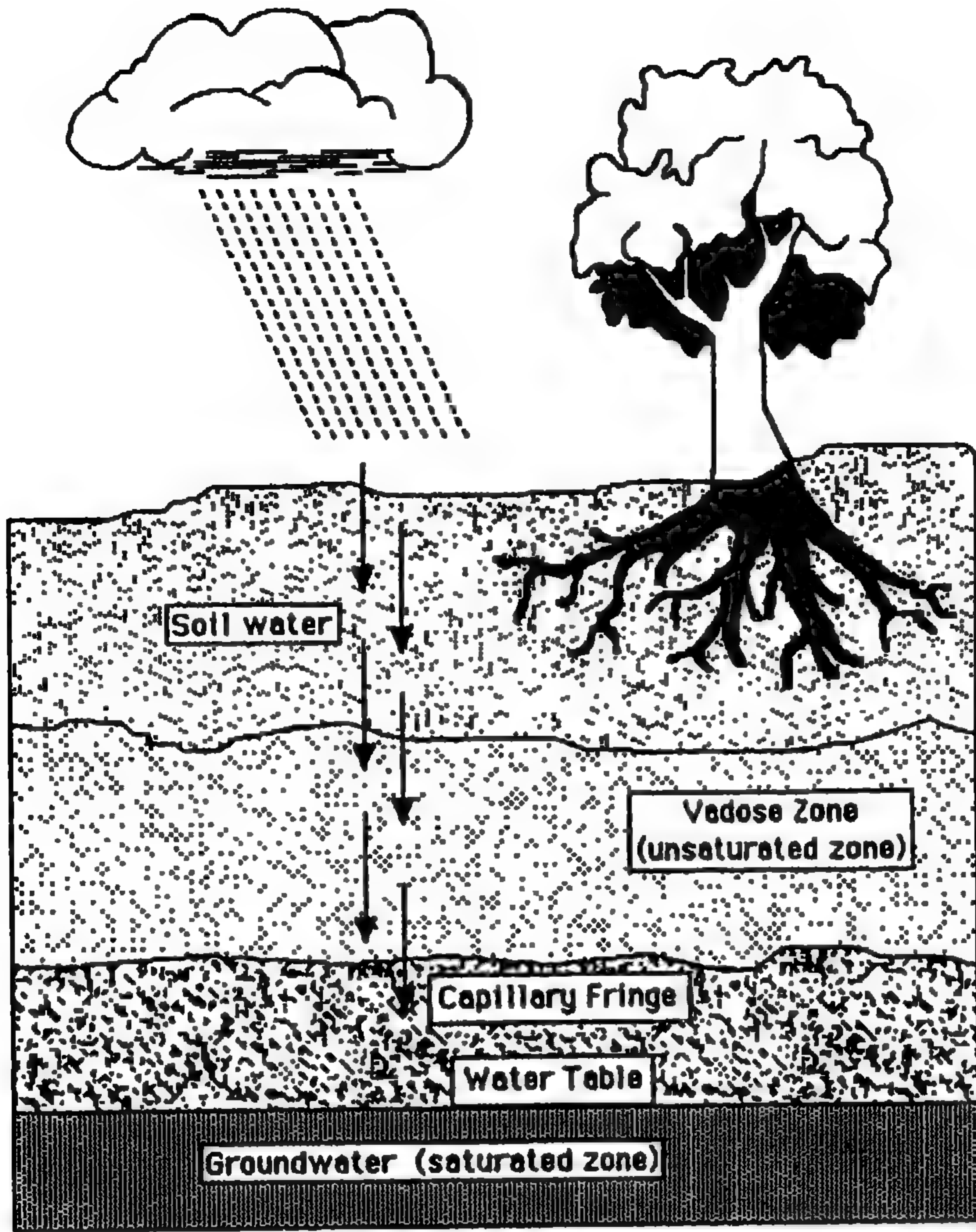
للمواد العضوية المضافة، وكذلك في أكسدة المركبات غير العضوية المختزلة (مثل SO_3^{2-} , Fe^{2+} , NH_4^+) الموجودة في المادة العضوية المضافة، وهذا ينتج عنه نقص في الأكسجين الميسر المطلوب للكائنات الحية في البيئة المائية.

ويستخدم مقياسان لتقدير جودة المياه السطحية وهما: **متطلب الأكسجين الحيوى (BOD)**، و**متطلب الأكسجين الكيميائى (COD)**، ويعتبر المتطلب الحيوى مقياساً لكمية الأكسجين المستهلكة بواسطة الكائنات الدقيقة في مدة زمنية مقدارها خمسة أيام، بينما يوضح المتطلب الكيميائى كمية المادة القابلة للتأكسد الموجودة في العينة عن طريق تفاعلها مع البيكرومات. وغالباً ماتكون أرقام المتطلب الكيميائى أعلى من أرقام المتطلب الحيوى، وهذا يتوقف على طبيعة وكمية المادة القابلة للتأكسد في عينة المياه.

وتتأثر أيضاً المجموعات الحيوية (الأسماك، النباتات، الكائنات الدقيقة ... إلخ) في المياه السطحية بالظروف المتأثرة برقم الحموضة (pH) وتركيز الأملاح؛ فالنشاط التعدينى غالباً مايكون له تأثير كبير على جودة المياه السطحية، وكذلك على الأراضى والهواء في البيئة المحيطة، كما أن تأكسد مركبات الكبريت المختزلة يمكن أن يؤدي إلى صرف حامضى للمناجم، وهو مايسبب ضرراً للنبات والحيوان والكائنات الدقيقة، بالإضافة إلى أن صرف المناجم الحامضى في مياه الري قد يؤدي إلى زيادة ملوحة المياه السطحية.

٢ - ٣ - ٢ - ٣ المياه الجوفية :

يمكن للمياه الراشحة أن تتحرك تحت بيئة التربة في منطقة معروفة باسم منطقة قادوز (وهي منطقة غير مشبعة)، أو تتحرك لمسافة أعمق مما سبق في منطقة الماء الجوفى (منطقة مشبعة) (شكل ٢ - ٦). ويسمى السطح العلوى لمنطقة الماء الجوفى بمستوى الماء الأرضى، وهو يتذبذب متوقفاً على كمية الماء الواصل إلى منطقة



شكل ٢ - ٦ مناطق المياه تحت السطحية.

المياه الجوفية أو المستنفذ منها، وتكون منطقة الخاصة الشعرية هي المنطقة التي فوق خط مستوى الماء الأرضي وفيها يُسحبُ الماء لأعلى في المسام الدقيقة بفعل الخاصّة الشعرية.

لقد سبق القول بأن حركة الماء ترجع إلى جمع: (١) التدرج الهيدروليكي، (٢) والسهولة التي عن طريقها يتحرك الماء خلال التربة أو الصخر (التوصيل الهيدروليكي). ويستجيب الماء الجوفي أيضا للتدرج، والذي هو نتاج حاصل ضرب قوة الجاذبية الأرضية ونفاذية الطبقات السفلية. وتتميز الطبقات السفلية بمساميتها ونفاذيتها، وهي تصف درجة الفراغات البينية ومقاومة حركة الماء على الترتيب. وعلى ذلك فإن المياه الجوفية تتحرك بدرجة أسرع في الطبقات السفلية خشنة القوام، وأيضا كلما ازداد ميل مستوى الماء الأرضي.

الطبقات الصخرية المائية عبارة عن نظم المياه الجوفية التي لها مسامية ونفاذية قادرة على إمداد مياه كافية لغرض معين، ولكي يكون الصخر الحامل للماء مفيدا يجب أن يكون قادراً على أن يُخزن، ويُنفذ، ويُنتج كميات كافية من المياه حسنة الجودة، وتقسم الطبقات الصخرية المائية هذه إما إلى طبقات محبوسة (تقع تحت طبقة غير منفذة) أو طبقات غير محبوسة (غير محدودة من أعلى ولها مستوى ماء أراضى). وقد يوجد ضغط كاف في الطبقات المحبوسة يستطيع أن يؤكّد ظروفًا ارتوازية، وتُسمى مناطق الطبقات السفلية التي لها نفاذية منخفضة، ولا تستطيع أن تنتج كميات كافية من الماء المفيد عمليا بالصخور المانعة.

٢ - ٤ بيئة التربة :

مصطلح «التربة» أو «الأرض» له معانٍ متعددة لدى الباحثين في التخصصات المختلفة: يعرفها علماء النبات والإنتاج النباتي بأنها البيئة التي ينمو فيها النبات، وبالنسبة للمهندسين، يشير مصطلح «التربة» إلى المادة المفككة التي تقع بين سطح الأرض والصخر الصلب، ويصفها علماء الأراضى بأنها المادة المعدنية والعضوية المفككة عند سطح القشرة الأرضية، والتي حدث لها تغير بواسطة العمليات البيدولوجية. وبالرغم من عدم وجود تعريف موحد لمصطلح «التربة»، فمن الواضح أن وظائف التربة متعددة.

يحدث تلوث التربة غالبا من التلوث الكيميائي عن طريق استخدام كميات متزايدة من المبيدات والأسمدة، والتي يمكن أن تؤدي إلى تلوث المياه السطحية

والجوفية. غير أنه توجد صور أخرى لتلوث التربة أوتدهورها، تشمل السحل، والتضاغط، والملوحة . ولقد أهملت الأراضي عندما استخدمت كمواقع للتخلص من المخلفات الكيميائية والمواد الأخرى غير المرغوبة. إن معظم الأراضي قادرة على ادمصاص ومعادلة كثير من الملوثات بدرجة تجعلها غير ضارة، وذلك عن طريق عمليات كيميائية وبيوكيميائية. ومع ذلك، هناك حدود لقدرة التربة على قبول المخلفات بدون تأثيرات سلبية.

وتعتبر الأراضي دالة للعمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية التي تعمل باستمرار وتُغيّر الأراضي عبر العصور الجيولوجية. وفي الأقسام التالية سوف نحدد الخطوط الكبرى للخواص المهمة للأراضي، كما نُعرّف المصطلحات الشائعة الاستخدام في وصف الأراضي، ولكي نصنف الأراضي لأغراض الاستخدام يجب أن نفهم الخواص العامة لها.

٢ - ٤ - ١ الخواص الفيزيائية للأراضي :

تحتوي الأراضي على مواد صلبة ومواد سائلة وغازات، وبخصوص الخواص الفيزيائية للأراضي فإننا نهتم بصفة مبدئية بتركيب وترتيب المواد الصلبة وكيفية تأثير حركة السوائل والغازات بالمواد الصلبة في التربة. ويجب ملاحظة أن لون التربة ودرجة حرارتها تُعتبران أيضا من الخواص الطبيعية للأراضي، كما أن ترتيب المكونات الصلبة للتربة يحدد كمية المسام أو الفراغات البينية التي تمتلكها التربة. وفي هذا الجزء سوف نناقش طبيعة المواد الصلبة للتربة وأهمية هذه المواد الصلبة في حركة محاليل وغازات التربة.

تتركب الأراضي من مواد صلبة تتراوح في أحجامها من الحجارة إلى الطين الناعم (جدول ٢ - ٦). والمواد الأكبر حجما تسمى قطعاً خشنة أو كبيرة أو قطعاً معدنية (تشمل الحجارة، والحصى الكبير، والحصى)، وهي قد تم تجويتها فيزيائيا وكيميائيا على مدى فترات طويلة من الزمن لتكوّن حبيبات أصغر من الرمل والسلت والطين. وتُعرّف حبيبات التربة، على أساس قطرها، بالرغم من ندرة وجود هذه

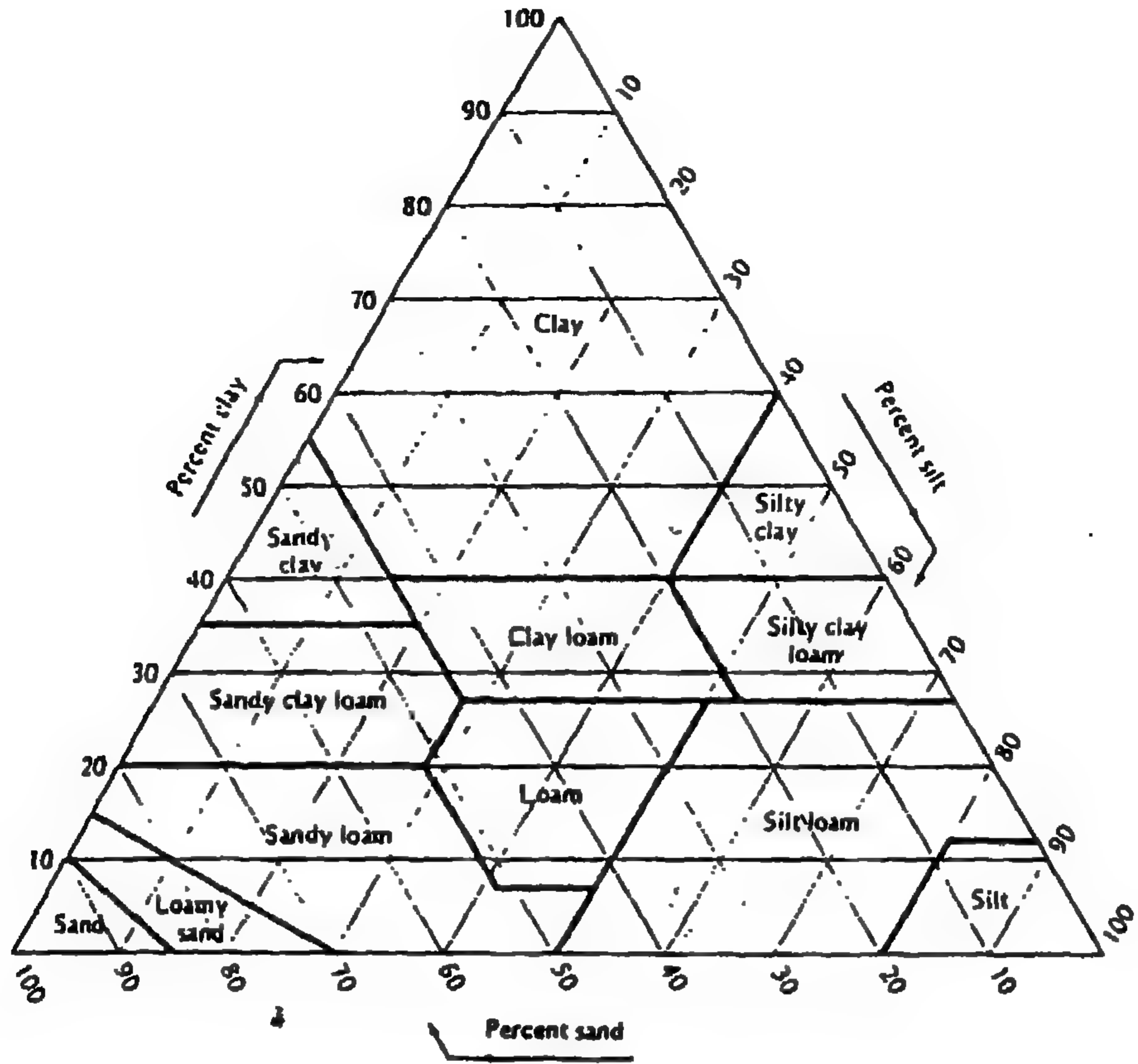
جدول ٢ - ٦ تصنيف حجم حبيبات التربة طبقا لقسم نظم الزراعة بالولايات المتحدة.

حبيبة التربة	القطر mm	مقارنة
قطع كبيرة		
حجارة	< ٢٥٤	< ١٠ بوصة
حصى كبير	٢٥٤-٧٥	٣- ١٠ بوصة
حصى	٧٥-٢	٠.٨- ٣ بوصة
حبيبات تربة		
رمل خشن جداً	٢-١	سُمك النيكل
رمل خشن	٠.٥- ١	سمك سن القلم الرصاص
رمل متوسط	٠.٢٥- ٠.٥	بلورة الملح
رمل دقيق	٠.٢٥- ٠.٠١	الجانب المسطح لورقة كتاب
رمل دقيق جداً	٠.٠٥- ٠.٠١	تقريباً لا يرى بالعين
سلت خشن	٠.٠٢- ٠.٠٥	شعيرة جذرية
سلت متوسط	٠.٠١- ٠.٠٢	نيماتودا
سلت دقيق	٠.٠٠٢- ٠.٠١	الفطر
طين خشن	٠.٠٠٢- ٠.٠٠٠٢	البكتريا
طين ناعم	> ٠.٠٠٠٢	الفيروسات

الحبيبات فى صورة أجسام كروية. ولعادن الطين ثلاثة أبعاد، وتركيبها البنائى طبقي، أى توجد فى طبقات تشبه الصفائح أو الألواح فى مظهرها، وتختلف أحجام حبيبات التربة فى الغالب طبقاً لنظام التقسيم المستخدم بواسطة كل مجموعة. فالنظام المتبع فى إدارة الزراعة بالولايات المتحدة (بواسطة مجموعة حصر الأراضى ١٩٧٥، ١٩٩٢) هو الذى نستخدمه فى هذا الكتاب.

يوجد ١٢ رتبة لقوام التربة معتمدة على نسبة الرمل والسلت والطين فى عينة التربة (شكل ٢ - ٧). وهناك طريقتان لتقدير قوام التربة: (١) الطريقة الحقلية وتُقدَّر بواسطة اليد، (٢) طريقة التحليل الميكانيكى فى المعمل. ويتم تعليم طريقة الحقل فى مقرر أساسيات علم الأراضى وسوف لا تناقش هنا. ويتطلب استخدام طريقة التحليل الميكانيكى لتقدير نسبة الرمل، والسلت، والطين إزالة المكونات الكبيرة الحجم عن طريق نخل التربة خلال منخل ٢ - مم. وتعتبر المعالجات الكيميائية ضرورية أيضاً لإزالة المواد اللاحمة مثل المادة العضوية والكربونات. ويجب أن يكون مجموع نسب الرمل والسلت والطين دائماً ١٠٠٪ ومن ثم يمكن معرفة رتبة قوام عينة التربة باستخدام مثلث القوام (شكل ٢ - ٧). على سبيل المثال، ماهى رتبة قوام التربة التى تحتوى على ٤٠٪ رمل، ٤٠٪ سلت، ٢٠٪ طين؟ من مثلث القوام رتبة قوام هذه العينة طميية loam. ونحتاج فعلاً إلى اثنين فقط من نسبة حبيبات التربة لتقدير رتبة قوامها؛ حيث إن النقطة التى يلتقى عندها الاثنان لا تتغير فى حالة استخدام النسبة الثالثة لحبيبات التربة.

وبسبب أن رتبة القوام لتربة ماتظل ثابتة لا تتغير خلال فترة زمنية مكافئة لامتداد عمر الإنسان، فيعتبر قوام التربة غالباً خاصية أساسية للتربة. وهذا أحد الأسباب التى تجبرنا على تسجيل رتبة قوام التربة لكل أفق عند وصف قطاع التربة فى عمليات حصر الأراضى. ومع ذلك، فإن حدوث اضطراب فى منطقة ما، كما يحدث مثلاً فى حالة الانجراف بالماء أو الانجراف بالرياح، يمكن أن يُغيّر قوام سطح التربة سواءً للتربة التى حدث لها انجراف أو التربة التى استقبلت وترسبت على سطحها المواد المنجرفة. وبالتالي فعلى مدار فترات زمنية طويلة (الزمن الجيولوجى)، قد يؤدى تجوية وانتقال مواد التربة إلى تغيير قوام التربة.



شكل ٢ - ٧ مثلث القوام ، وهو يوضح مدى نسب الرمل والصلت والطين في الأراضي المختلفة. لاحظ أن مجموع الثلاث مكونات يمثل ١٠٠٪، وأن عينة التربة التي تحتوي على نسب متساوية من الرمل والصلت والطين يصنف قوامها طمي طيني.

وترتبط حبيبات التربة مع بعضها البعض بواسطة قوى طبيعية وكيميائية لتكوّن تجمعات أرضية ثابتة. وتسمى التجمعات الطبيعية وحدات بنائية. وتُحدّد نوع التجمعات الأرضية أو الوحدات البنائية مجتمعة ما يسمى بالبناء الأرضي. والبناء الأرضي تأثير على كمية الماء التي تدخل في التربة (الرشح)، وعلى انتشار الغاز عند سطح التربة. ويلعب البناء الأرضي أيضاً دوراً مهماً في حركة السوائل والغازات خلال الأراضي. وتعتبر المسامية دالة للبناء الأرضي.

يتم تصنيف البناء الأرضي على أساس أنواعه، وحجمه، ومستوياته (رتبه). وتشمل أنواع البناء الشائعة أشكال: الحبيبي، الطبقي، الكتلي تحت الزاوى والزاوى، المنشورى، والعمودى (شكل ٢ - ٨). ويمثل البناء الحبيبي الأفق A. أما البناء الطبقي فبالرغم من أنه ليس شائعا، فإنه يوجد فى الأفق E لأراضى الغابات أو فى بعض الأفق B الطينية المنضغطة. أما باقى الأنواع وهى البناء الكتلي، والمنشورى، والعمودى فتوجد غالبا فى الأفق B؛ ويُعدُّ البناء الكتلي بصنفيه الزاوى وتحت الزاوى نموذجا للبناء الأرضي فى أراضى المناطق الرطبة، بينما يكون المنشورى والعمودى شائعا فى الأراضى الجافة وشبه الجافة.

ويختلف حجم التجمعات البنائية طبقا لنوع البناء الأرضي، ويتراوح ما بين دقيق جدا إلى كبير جدا.

أما رتبة البناء الأرضي فتقدر عن طريق ملاحظة البناء الأرضي فى حفرة بالأرض وتقدير كيفية اكتمال تطور البناء الأرضي (أى تقدير حجم ودرجة وضوح واكتمال الوحدات البنائية). وتشمل رتب البناء الأرضي على : ضعيف، ومتوسط، وقوى.

وتُعدّ قياسات الكثافة الحقيقية والكثافة الظاهرية مفيدة فى تقدير نوع المعادن الموجودة فى التربة ، ودرجة تضغط التربة على الترتيب . الكثافة الحقيقية تساوى كتلة الحبيبة مقسومة على حجمها (ميجا جم/م^٣ أو جم/سم^٣). وبذلك فإن حجم المسام، ووزن الماء لا يدخلان فى تقدير قياسات الكثافة الحقيقية. ولعادن التربة الشائعة (الكوارتز ، الفلدسبار ، الميكا ، معادن الطين) كثافة حقيقية تتراوح من ٢٦، ٢٧٥ ميجا جم/م^٣ ، وغالبا يستخدم ٢٦٥ ميجا جم/م^٣ كمتوسط يمثل الكثافة الحقيقية للأراضى . والكثافة الظاهرية مقياس لكتلة الأرض مقسوما على حجمها. وتستخدم لقياسات الكثافة الظاهرية عينات تربة طبيعية، وذلك حتى يتحقق تمثيل حقيقى لكمية الجزء الصلب الموجود فى حجم معين من التربة لغرض حساب الكثافة الظاهرية. أما فى حالة التربة المفككة، فيتم تدمير الفراغات البينية الطبيعية الموجودة فى التربة. وتحسب الكثافة الظاهرية على أساس الوزن

حبيبي التجمعات الأرضية عبارة عن وحدات بنائية صغيرة وشبه كروية، ويوجد في معظم كروية، ويوجد في معظم الافاق السطحية للأراضي المعدنية.



طبقة بني بناء أفقى شبيهه بالطبق، يوجد غالبا في أفاق E في الأراضي التي بها طبقة صماء طينية.



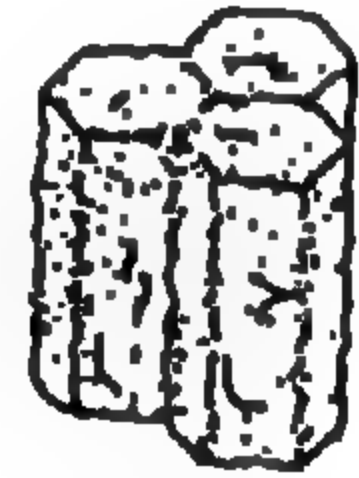
كتلى زاوي وحدات بنائية شبيهة بالكتل الحادة، يشبع وجوده في أفاق B لأراضي المناطق الرطبة.



كتلى تحت زاوي وحدات بنائية شبيهة بالكتل ذات حواف مستديرة، يشبع وجوده أيضا في أفاق B لأراضي المناطق الرطبة.



منشوري وحدات بنائية شبيهة بالعمود ذات قمم مسطحة، يشبع وجوده في أفاق B للأراضي الجافة وشبه الجافة.



عمودي وحدات بنائية شبيهة بالعمود ذات قمم مستديرة، يشبع وجوده أيضا في أفاق B للأراضي الجافة وشبه الجافة.



شكل ٢ - ٨ أنواع البناء الأرضي، أوصافه وموقعه في قطاع التربة.

الجاف فى الفرن، ولا يؤخذ فى الاعتبار كمية الماء الموجود فى التربة وقت أخذ العينة. وللأراضى المعدنية، إن لم يكن أصلها رماد بركانى، كثافة ظاهرية أكبر من واحد ميجا جم/م^٣، مع كثافة ظاهرية شائعة للأرض الطميية ١.٢ ميجا جم/م^٣. والأراضى التى لها كثافات عالية (مثل ٠.٢ ميجا جم/م^٣) يكون رشع ونفاذية الماء فيها بطيئاً، وهذا يمكن أن يؤدى إلى تكوين برك أو سريان لماء المطر على سطح التربة. وللأراضى العضوية كثافة ظاهرية أقل من واحد ميجا جم/م^٣. أما الأراضى المعدنية الناشئة من رماد البراكين فلها كثافة ظاهرية تتراوح من ٠.٣٠ - ٠.٨٥ ميجا جم/م^٣.

تُقسَّم معادن الطين إلى معادن أولية ومعادن ثانوية تبعا لأصلها. فالمعادن الأولية هى تلك المعادن التى تكونت أثناء تبريد الصخر المنصهر ويسودها معادن السليكات (جدول ٢ - ٧). وتتكون الصخور النارية كلية من معادن أولية، أما الصخور المتحولة والرسوبية فيمكن أن تحتوى على كميات وفيرة من أى من المعادن الثانوية أو الأولية.

وتتكوّن المعادن الثانوية فى الأراضى من المركبات الذائبة الناتجة من تجوية الصخور. وتعتبر معادن الطين أحد أهم المعادن الثانوية فى الأراضى؛ وذلك بسبب مالها من سطح نوعى كبير وقدرة تفاعلية كبيرة مع المركبات الأيونية والمركبات العضوية الذائبة، وسوف تناقش بتفاصيل أكثر فى الجزء القادم. وتتراكم الكربونات والكبريتات فى الأفق B وهى تمثل المعادن الثانوية السائدة الموجودة فى أراضى المناطق الجافة وشبه الجافة.

ويوجد الكربون فى جميع الأراضى فى صورة مادة عضوية. ويختلف محتوى المادة العضوية فى الأراضى من أقل من ١٪ فى الأراضى الخشنة القوام وأراضى المناطق الجافة إلى حوالى ١٠٠٪ فى بعض الأراضى العضوية رديئة الصرف، وقد تحتوى الأراضى المنزرعة ٢ - ١٠٪ مادة عضوية. وتؤثر المادة العضوية على خواص التربة الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية، كما يتحسن فى الغالب البناء الأرضى بإضافة المادة العضوية مثل السماد الحيوانى، وحمأة المجارى، والسماد العضوى الصناعى (كمبوست)، وبقايا المحاصيل التى تُقلب أو يتم تدويرها فى الأرض.

جدول ٢-٧ المعادن الأولية والثانوية الشائع وجودها فى الأراضى.

المعدن	الصيغة الكيميائية	القابلية للتجوية
المعادن الأولية:		
كوارتز	SiO_2	<p>الأكثر مقاومة</p> <p>↑</p> <p>↓</p> <p>الأقل مقاومة</p>
مسكوفيت	$\text{K Al}_3 \text{Si}_3 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	
ميكرولين	$\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$	
أونوكلاز	$\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$	
بيوتيت	$\text{K Al (Mg , Fe)}_3 \text{Si}_3 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	
ألبيت	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	
هورنبلند	$\text{Ca}_2 \text{Al}_2 \text{Mg}_2 \text{Fe}_3 \text{Si}_6 \text{O}_{22} (\text{OH})_2$	
أوجيت	$\text{Ca}_2 (\text{Al,Fe})_4 (\text{Mg,Fe})_4 \text{Si}_6 \text{O}_{24}$	
أنورثيت	$\text{Ca Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8$	
أوليفين	$(\text{Mg,Fe})_2 , \text{SiO}_4$	
المعادن الثانوية:		
جيوثيت	Fe OOH	<p>الأكثر مقاومة</p> <p>↑</p> <p>↓</p> <p>الأقل مقاومة</p>
هيماتيت	$\text{Fe}_2 \text{O}_3$	
جبسيت	Al (OH)_3	
معادن الطين	Aluminosilicates	
دولوميت	$\text{Ca Mg (CO}_3)_2$	
كالسيت	Ca CO_3	
جبس	$\text{Ca SO}_4 \text{H}_2\text{O}$	

Brady, 1990.

المصدر:

٢ - ٤ - ٢ الخواص الكيميائية للأراضي :

نويان المعادن، ورقم الحموضة (pH)، والتبادل الكاتيوني والأنيونى، والفعل التنظيمى، وتيسر العناصر الغذائية، جميعها تمثل الخواص الكيميائية الرئيسية للأراضى. وجميعها تعتمد بصفة أولية على طبيعة وكمية معادن الطين والمادة العضوية الموجودة فى الأراضى. وإن معرفة كيمياء المحلول الأراضى مهم جدا لفهم كيفية استخدام المخلفات مثل السماد الحيوانى، وحماة المجارى، والنواتج الثانوية للغذاء. وفى هذا الجزء سنتعرض لخواص معادن الطين والمادة العضوية وسنصف تفاعلات التربة التى يتم التحكم فيها بواسطة هذه المواد.

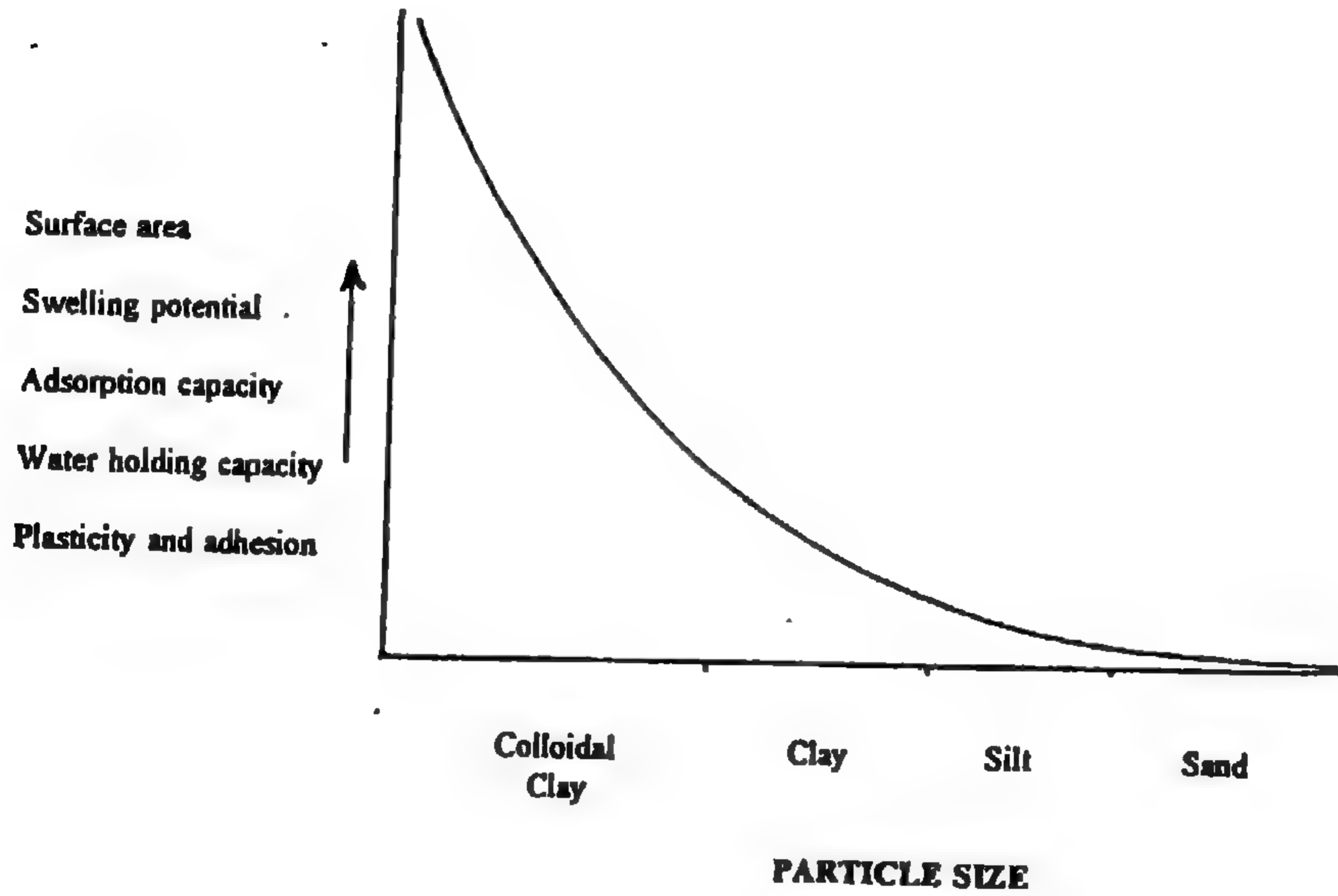
٢ - ٤ - ١ معادن الطين :

تعرف معادن الألومينو سليكات الطبقة بمعادن الطين، وهى لها تأثير كبير على كثير من التفاعلات الكيميائية فى التربة ؛ وذلك لكبر مساحة السطح «النشطة» لها (شكل ٢ - ٩). ويشير المصطلح «نشط» إلى الشحنات التى تتكون على سطوح معدن الطين وعلى قدرة بعض أنواع معادن الطين على التمدد. ولا يجب الخلط بين معادن الطين وحببيات التربة التى لها حجم الطين بسبب أن الأخيرة يمكن أن تحتوى أيضا على حببيات كوارتز، وكالسيت، وجبس والتى تكون أقطارها ٢ ميكرون أو أقل.

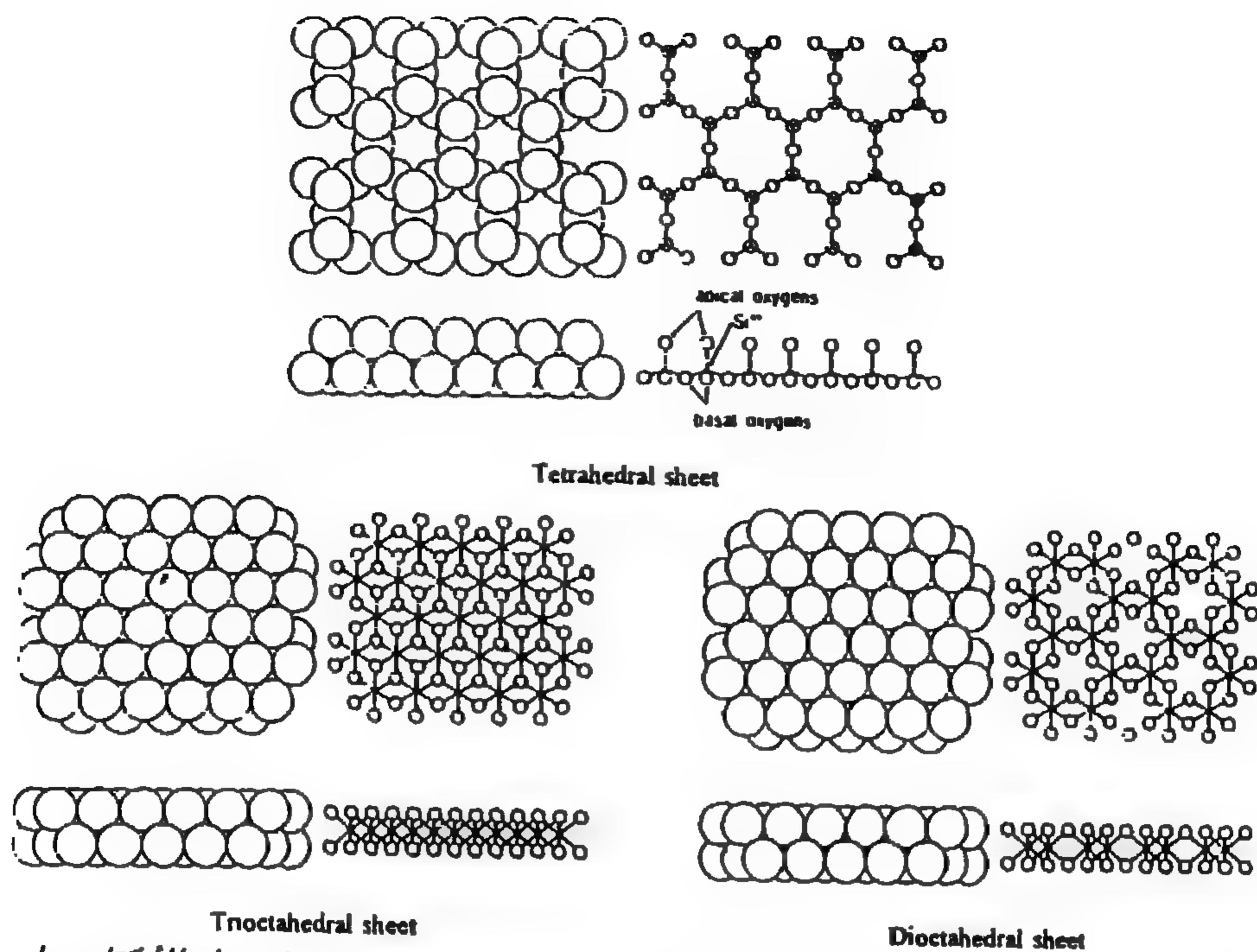
معادن الطين المهمة بللورية، وتتكون من طبقات منتظمة من صفائح التتراهيدرا والأوكتايدرا (شكل ٢ - ١٠). وتتكون صفائح التتراهيدرا من ذرات السليكون والأكسجين، وتشارك ثلاثة من كل أربع ذرات أكسجين مع مجموعة التتراهيدرا المجاورة. وذرات الأكسجين المشتركة هذه يشار إليها على أنها ذرات الأكسجين القاعدية (الأساس) لصفحة التتراهيدرا. وتسمى ذرة الأكسجين المتبقية وغير المشاركة بالأكسجين القمية (العليا). أما صفائح الأوكتايدرا فهى نوعان: داي أوكتايدرا، تراى أوكتايدرا.

صفائح داي أوكتاهايدرا يكون فيها اثنان من كل ثلاثة مواقع أوكتاهايدرا مشغولة أو مرتبطة غالبا مع كاتيون الألومنيوم الثلاثي. بينما في حالة صفائح تراي أوكتاهايدرا تكون جميع المواقع مشغولة بكاتيونات ثنائية وعادةً هو أيون المغنسيوم.

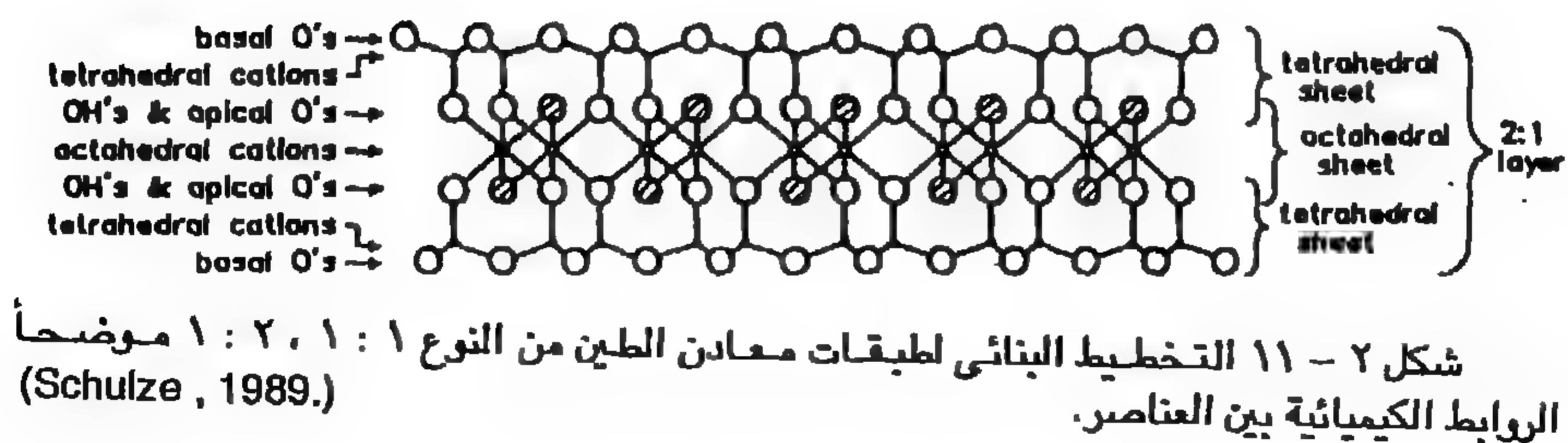
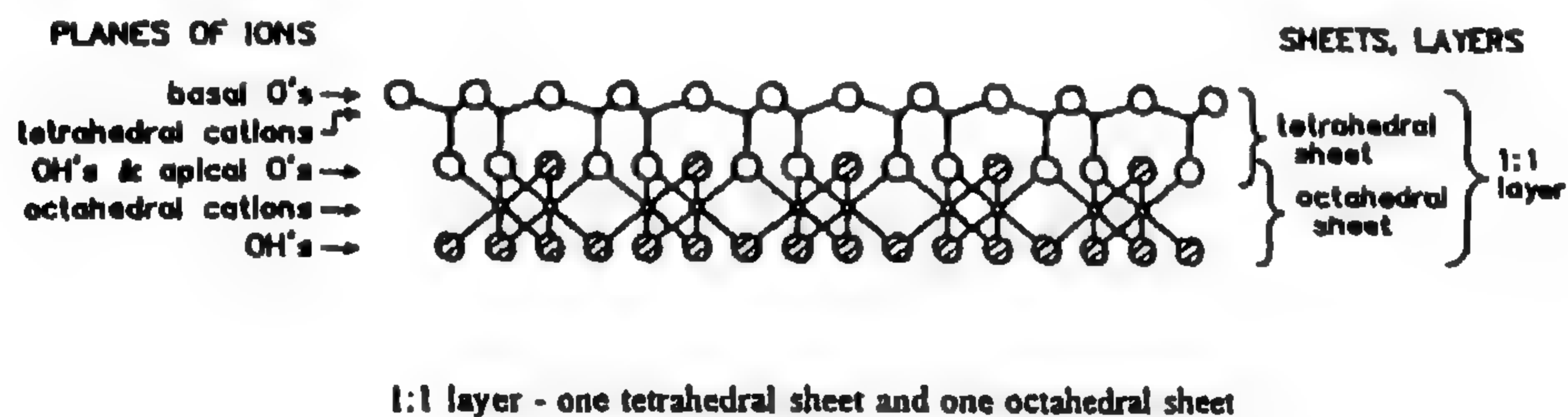
ومعادن الطين السليكاتية الطبقية ذات تركيب إما ١ : ١ ، أو ٢ : ١ ، أو ٢ : ٢ : ١ طبقات من صفائح التتراهايدرا والأوكتاهايدرا، وتحتوي معادن الطين من النوع ١ : ١ على صفيحة واحدة من التتراهايدرا، وصفيحة واحدة من الأوكتاهايدرا، يرتبطان معاً عن طريق مشاركة ذرات أكسجين التتراهايدرا القمية (شكل ٢ - ١١). ومعادن الطين من النوع ٢ : ١ تتكون من صفيحة أوكتاهايدرا محصورة بين صفيحتين من التتراهايدرا (شكل ٢ - ١١). أما طبقة معادن الطين من النوع ٢ : ١ : ١ فهي شبيهة بمعادن الطين ٢ : ١ مع إضافة صفيحة إضافية من النوع داي أوكتاهايدرا أو تراي أوكتاهايدرا بين طبقات ٢ : ١.



شكل ٢ - ٩ العلاقة بين حجم الحبيبة والخواص الكيميائية والفيزيائية للأراضي.



شكل ٢ - ١٠ رسم تخطيطي (يوضح الفراغات وبريد الربط) لصفائح التتراهيدرا والأوكتاهايدرا. (Schulze , 1989.)



شكل ٢ - ١١ التخطيط البنائي لطبقات معادن الطين من النوع ١ : ٢ ، ١ : ١ موضحاً الروابط الكيميائية بين العناصر. (Schulze , 1989.)

معادن الطين الرئيسية الموجودة في الأراضي موضحة في جدول ٢ - ٨. الكاؤولينيت والهالوسيت من النوع ١ : ١، وفيهما تكون ذرات السليكون في مواقع التتراهيدرا، بينما تكون ذرات الألومنيوم في مواقع الأوكتايدرا. وترتبط طبقات معادن الطين من النوع ١ : ١ مع بعضها البعض بإحكام بواسطة روابط هيدروجينية تتكون بين ذرات الأكسجين القاعدية لصفائح التتراهيدرا ومجاميع الهيدروكسيل لصفيحة الأوكتايدرا المجاورة. وينتشر الكاؤولينيت في الأراضي بينما يعتبر الهالوسيت أقل ثباتا، وفي الغالب يتحول إلى كاؤولينيت على مدار الزمن.

الإحلال المتماثل :

يحدث الإحلال المتماثل عندما يحل عنصر محل آخر في التركيب المعدني، مثلما يحل Al^{3+} محل السليكون Si^{4+} ، وعندما يحل عنصر شحنته أقل محل عنصر ذو شحنة أعلى، ينتج عن ذلك شحنة سالبة سائدة في معدن الطين. ولكل من الكاؤولينيت (شكل ٢ - ١٢) والهالوسيت شحنة سطحية صغيرة جدا بسبب انخفاض الإحلال المتماثل في تركيبهما البنائي. معادن الإليت أو الميكا المائية من النوع ٢ : ١ غير المتمدد، وهي معادن من النوع داي أوكتايدرا يوجد فيها البوتاسيوم في الفراغات الموجودة بين الطبقات الداخلية (المنطقة أو الفراغ بين طبقات معادن الطين من النوع ٢ : ١) (شكل ٢ - ١٢). وترتبط ذرة البوتاسيوم بقوة في الطبقات الداخلية، وعادة يشار إلى أنها غير قابلة للتبادل. ويعتبر معدن المونتمو ريلاونيت أحد معادن الطين العديدة المكونة لعائلة سمكتيت (شكل ٢ - ١٢). ومعادن السمكتيت من النوع ٢ : ١ وفيها الإحلال المتماثل منخفض إلى متوسط. ويسبب الشحنة الدائمة المنخفضة لها فإن معادن السمكتيت قادرة على التمدد، وهذا يزيد مساحة السطح المعرض. إن مساحة السطح المرتفعة بالإضافة إلى كمية المواقع المشحونة تعطي معادن السمكتيت القدرة على ادمصاص الكاتيونات. والسعة التبادلية الكاتيونية (CEC) هي كمية مواقع

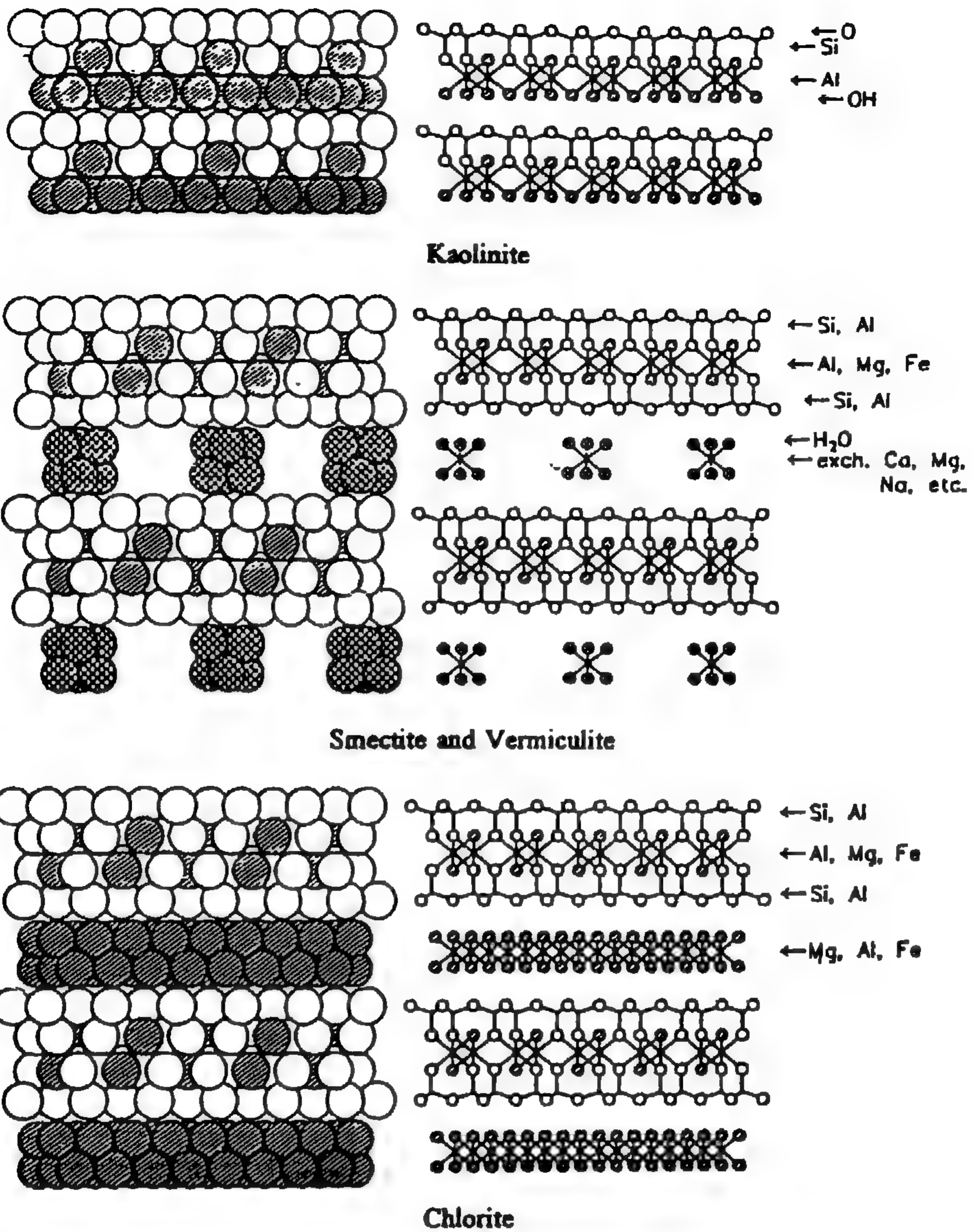
جدول ٢-٨ معادن الطين الشائعة في الأراضى.

الصيغة الكيميائية العامة	المعدن
$Al_4 Si_4 O_{10} (OH)_8$ $Al_4 Si_4 O_{10} (OH)_8 4H_2O$	<p>نوع ١ : ١</p> <p>كاؤولينيت</p> <p>هالوسيت</p>
$Al_4 (Si_6 Al_2) O_{20} (OH)_{48} nH_2O$	<p>نوع ٢ : ١</p> <p>إليت</p> <p>سمكتيت:</p>
$M_x (Al_4 - x Mg_x) Si_8 O_{20} (OH)_4$ $M_x Al_4 (Si_8 - x Al_x) O_{20} (OH)_4$ $Mg Fe_4 (Si_8 - x Al_x) O_{20} (OH)_4$	<p>مونتموريالونيت</p> <p>بيديليت</p> <p>نوترونيت</p>
$Mg (Al, Fe, Mg)_4 (Si_6 Al_2) O_{20} (OH)_4 nH_2O$	<p>قرمكيوليت</p>
$Mg_6 (OH)_{12} (Mg_5 Al) (Si_6 Al_2) O_{20} (OH)_4$	<p>نوع ٢ : ١ : ١</p> <p>كلوريت</p>

حرف M يمثل كاتيون أحادى التكافؤ

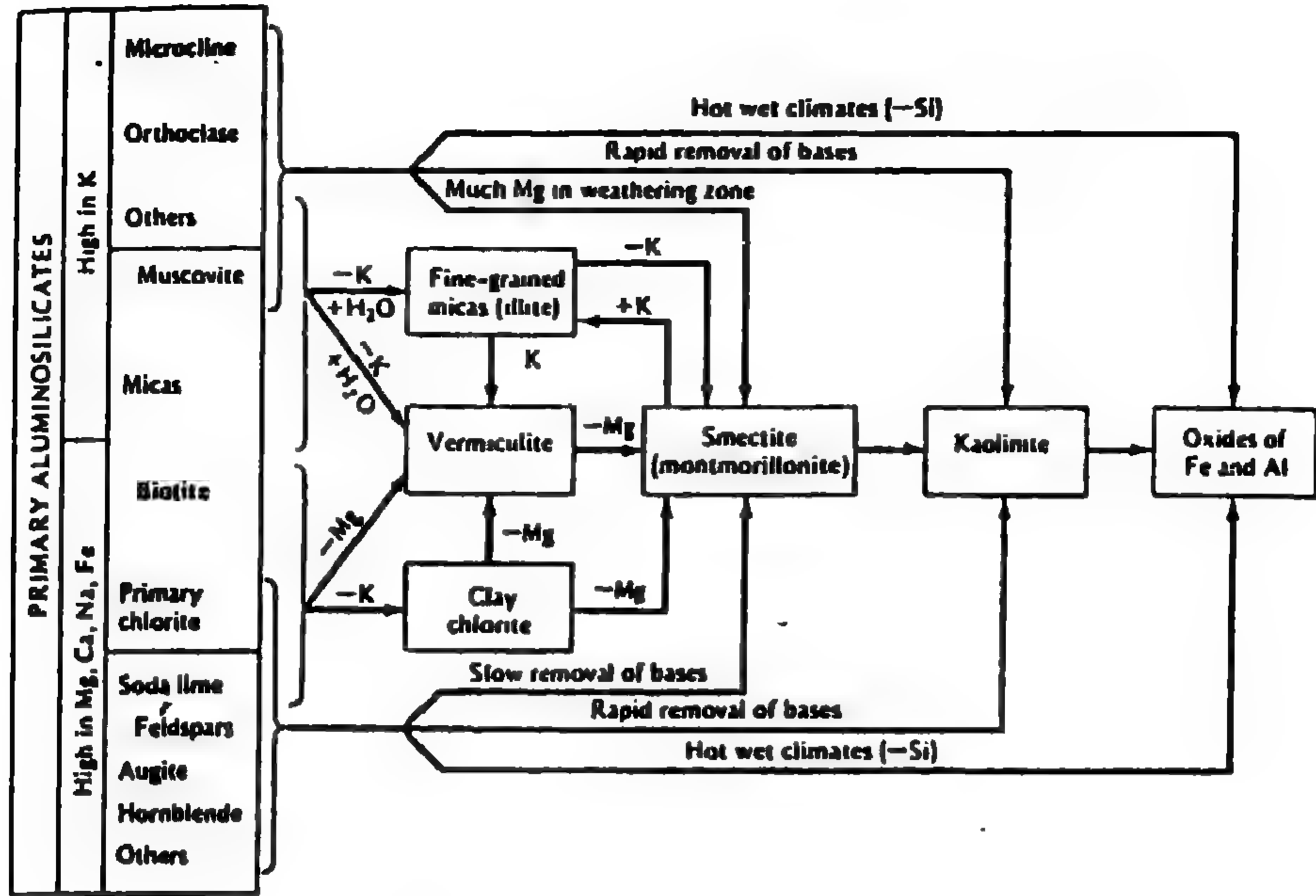
التبادل التي تستطيع أن تدمص الكاتيونات وتطلقها. ومعدن المونتموريلونيت هو أكثر معادن السمكتيت شيوعاً في معظم الأراضي. الفرملكيوليت (شكل ٢ - ١٢) من النوع ٢ : ١ : ١، وفيه الإحلال المتماثل عالٍ. وتحتوي الطبقات الداخلية للفرملكيوليت أيونات مغنسيوم قابلة للتبادل. ومع ذلك، فنظراً لأن شحنة طبقات الفرملكيوليت أكبر، فإن أيونات المغنسيوم في الطبقات الداخلية للفرملكيوليت ترتبط بقوة أكبر مقارنة بالمغنسيوم المحتجز في الطبقات الداخلية لمعادن السمكتيت. وبالرغم من أن الفرملكيوليت له سعة تبادلية كاتيونية عالية، فهو عندما يكون مشبعاً بدرجة كبيرة بأيونات البوتاسيوم أو الأمونيوم يصبح غير قابل للتمدد. ومعدن الكلوريت سائد في كثير من الأراضي. والفراغات الموجودة بين الطبقات من النوع ٢ : ١ في الكلوريت تكون ممتلئة أو مشغولة بواسطة صفائح أو كتاهايدرا المغنسيوم، ويصبح بذلك معدن سليكاتي من النوع ٢ : ١ : ١. مساحة السطح لمعادن الكلوريت منخفضة وذلك راجع إلى انجذاب طبقة البروسيت (صفحة أوكتاهيدرا المغنسيوم) بواسطة طبقات ٢ : ١، وهذا يخفض من قيمة السعة التبادلية الكاتيونية لهذه المعادن.

يوضح شكل ٢ - ١٣ الظروف العامة التي تؤثر في تكوين معادن الطين والأكاسيد. وبعض معادن الألومنيو سليكات الأولية يحدث لها تجوية فيزيائية وكيميائية وتنتج معادن طين، ويعتبر المسكوفيت المتحول إلى إليت مثلاً جيداً لهذا التحول. كلٌّ من المسكوفيت والإليت له تركيب بنائي ٢ : ١؛ ومع ذلك، فإن التجوية الفيزيائية، وفقد البوتاسيوم، والتغير البسيط في التركيب البنائي للمسكوفيت يُنتج عن كل ذلك معدن إليت له سعة تبادلية كاتيونية أقل ودرجة انتفاخ أكبر. وبعض معادن الطين عبارة عن نواتج لأيونات منطلقة أعيد تبلورها خلال عملية تكسير معادن أخرى. فيتكوّن معدن الكاؤولينيت، من النوع ١ : ١، نتيجة إعادة التبلور؛ حيث إنه لا توجد معادن أولية أو ثانوية لها تركيب بنائي مماثل للتركيب ١ : ١. وكما يلاحظ في شكل ٢ - ١٣، يتكون معدن الكاؤولينيت مباشرة من الأيونات المنطلقة من تجوية معادن الألومينو سليكات الأولية أو السمكتيت إذا حدث له فقد سريع للكاتيونات. وتعتبر التجوية الشديدة هي المسؤولة عن فقد السليكون وإنتاج أكاسيد حديد وألومنيوم.



شكل ٢ - ١٢ التركيب البنائي لمعادن طين الكاولينيت (١ : ١)، والسماكتيت والفرمكيوليت (١ : ٢)، والكلوريت (١ : ١ : ٢).

(Schulze , 1989.)



شكل ٢ - ١٢ تسلسل تكوين معادن الطين وأكاسيد الحديد والالومنيوم. لاحظ فقد الكاتيونات الذائبة في عملية نشوء وتكوين معادن الطين.

Brady, 1990.

المصدر:

٢ - ٤ - ٢ - ٢ المادة العضوية :

تلعب المادة العضوية دوراً مهماً في كيمياء الأراضي. وتشمل خواص الأراضي المرتبطة بمادة التربة العضوية: بناء التربة، إمداد العناصر الغذائية الكبرى والصغرى، السعة التبادلية الكاتيونية، ومقاومة التغير في رقم الحموضة. بالإضافة إلى ما سبق، تعتبر المادة العضوية أيضاً مصدر الكربون والطاقة اللازمة للكائنات الدقيقة.

وتتكون المادة العضوية من مخلفات النبات والحيوان المتحللة، وهي خليط معقد جداً من المركبات الكربونية التي تحتوى أيضاً على نتروجين، وكبريت، وفوسفور . وهي تتركب من مواد دبالية، ومركبات بيوكيميائية. ولقد تمّ تجريباً تعريف المواد الدبالية بناءً على خواص الإذابة لها بأنّها: أحماض الهيوميك، تذوب في القواعد ولا تذوب في الأحماض ، وأحماض الفولفيك، تذوب في الأحماض ولا تذوب في القواعد، والهيومين وهو المادة غير الذائبة والمتبقية بعد استخلاص حمض الهيوميك وحمض الفولفيك . وتشمل المركبات البيوكيميائية مركبات عضوية يمكن تحديدها مثل : الأحماض العضوية ، البروتينات ، السكريات العديدة، السكريات، والليبيدات، ويوضح جدول ٢ - ٩ الخواص العامة للمادة العضوية في التربة وتأثيرها على الأراضي .

من وجهة نظر الجودة البيئية يمكن أن تكون المادة العضوية في التربة مفيدة وضارة، فيمكنها أن تدمص ملوثات العناصر النادرة (مثل: الرصاص، الكاديوم، النحاس)، وهذا بالتالي يقلل من فرصة تلوث المياه السطحية والجوفية. وهناك ميزة أخرى هي ادمصاصها للمبيدات والكيماويات العضوية، وهذا يقلل من احتمال حدوث تأثيرات مستقبلية للمبيدات، ويمنع تلوث البيئة، ويشجع التحلل البيولوجي وغير البيولوجي للمبيدات والكيماويات العضوية. وبالإضافة إلى ذلك، فمعروف أن للمادة العضوية مقدرة على ادمصاص الغازات غير العضوية (مثل أكسيد النتريك وأكسيد النتروز) والعضوية (مثل أول أكسيد الكربون).

وبالرغم من وجود فوائد كثيرة للمادة العضوية في التربة، فلها أيضاً تأثيرات ضارة تحدث تحت ظروف معينة ؛ فالأراضي الغنية في المادة العضوية قد تتطلب معدلات أعلى من المبيد المضاف لإحداث مقاومة فعالة، ويحدث تلوث للمياه إذا غسلت هذه المبيدات أو نقلت عن طريق التجوية بالرياح أو بالمياه.

والأراضي قدرة محدّدة لادمصاص العناصر النادرة، ويجب ألا تُستخدم الأراضي لاستقبال إضافات لمدة طويلة من المخلفات العضوية مثل حمأة المجارى والأسمدة الحيوانية التي تحتوى على مستويات عالية من العناصر النادرة. ويمكن أن

جدول ٢ - ٩ خواص المادة العضوية في التربة، وتأثيراتها على التربة.

الخاصية	ملاحظات	التأثير على التربة
اللون	اللون الأسود لكثير من الأراضي سببه المادة العضوية.	يسهل التدفئة
الاحتفاظ بالماء	تستطيع المادة العضوية أن تحتفظ بمقدار ٢٠ مرة من وزنها ماء.	تساعد في منع الجفاف والانكماش، وقد تحسن بدرجة كبيرة خواص حفظ الأراضي الرملية للماء.
الارتباط مع معادن الطين	الوحدات البنائية المرتبطة مع بعضها تسمى تجمعات أرضية.	تسمح بتبادل الغازات، تزيد درجة ثبات البناء الأرضي، كما تزيد النفاذية.
الخب	تكون مركبات معقدة ثابتة مع الحديد، والمنجنيز، والزنك، والكاتيونات الأخرى عديدة التكافؤ.	يزيد من تيسر العناصر الغذائية الصغرى للنباتات الراقية.
الذوبان في الماء	إن عدم ذوبان المادة العضوية راجع إلى ارتباطها بالطين. كما أن أملاح المادة العضوية مع الكاتيونات الثنائية والثلاثية غير ذائبة. المادة العضوية المفصولة تذوب جزئياً في الماء.	نسبة صغيرة من المادة العضوية تُفقد مع الغسيل.
الفعل التنظيمي	تقاوم المادة العضوية التغير في رقم الحموضة على المدى الحامضي والمتعادل والقاعدي	تساعد في المحافظة على رقم حموضة موحد في التربة.
السعة التبادلية الكاتيونية المعدنية	تترواح للنبال من ٢٠٠ - ١٤٠٠ ملليمكافئ / ١٠٠ جم. ينتج عن تحلل المادة العضوية ثاني أكسيد كبريت، أمونيوم، نترات، فوسفات، كبريتات.	ترتفع لمعظم الأراضي بحوالي ٢٠ - ٧٠٪. مصدر للعناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات.
الارتباط مع جزيئات عضوية	يؤثر في النشاط الحيوي للمبيدات، وكذلك في مدة بقائها وقابليتها للتحلل البيولوجي.	يقلل معدل إضافة المبيد اللازم لتحقيق مكافحة فعالة.

تؤدي الإضافات المتكررة للمخلفات المحتوية على عناصر نادرة (انظر الفصل السابع) إلى الوصول إلى مستويات سامة للنبات، كما يمكن أن تكون أيضا سامة للإنسان والحيوانات التي تتغذى على النباتات النامية في الأراضي الملوثة.

٢ - ٤ - ٢ - ٣ التبادل الأيوني :

التبادل الأيوني هو أحد أهم وظائف الأراضي ؛ فعندما يحدث الإحلال المتماثل، فإن الكاتيونات المنخفضة الشحنة تحل محل كاتيونات عالية الشحنة، وتتكون نتيجة ذلك شحنة دائمة، كما يمكن أن تتكون المواقع المشحونة أيضا كدالة للـ pH. وتتكون الشحنات السطحية على معادن الطين، والأكاسيد المعدنية، والمادة العضوية، وتتكون هذه المواقع المشحونة نتيجة التحلل الأيوني (انفصال أيونات الهيدروجين) أو تكوين بروتونات للمواقع المشحونة ؛ ينتج عن التحلل الأيوني مواقع سالبة الشحنة، بينما ينتج عن تكوين البروتونات مواقع موجبة الشحنة. ويعتمد كل من هذين التفاعلين على رقم الحموضة وتسمى شحنات معتمدة على pH. وكلما ارتفع رقم الحموضة، تزداد أو تكبر السعة التبادلية الكاتيونية للتربة، وهذا راجع إلى الزيادة في كمية المواقع المشحونة المعتمدة على pH. وتحت ظروف الأراضي الحامضية، يكون لبعض معادن الطين، والأكاسيد المعدنية، والمادة العضوية مواقع مشحونة موجبة وتسبب تبادلاً أنيونياً، وتتجذب إلى سطح التربة الأيونات غير العضوية والعضوية التي لها شحنات معاكسة لشحنات مواقع التبادل.

ولكل من معادن الطين والمادة العضوية القدرة على ادمصاص الكيماويات الذائبة من المحلول الأرضي. بالإضافة إلى ذلك، فإن معادن الطين ذات الحجم الغروي والمادة العضوية الذائبة يمكن أن تشجع غسيل وانتقال المعادن الثقيلة والكيماويات العضوية (مثل المبيدات) والملوثات الأخرى الخطيرة.

٢ - ٤ - ٣ الغلاف الحيوى :

يتكوّن الجزء الحى من التربة من النباتات، والحيوانات، والكائنات الدقيقة. وتختلف مجتمعات التربة من تربة إلى أخرى وتشمل: جذور النبات، القوارض، الديدان، الحشرات، وهذه جميعها ترى عادة بالعين المجردة، الكائنات الدقيقة (البكتريا، الأكتينومييسيتات، الفطر، الطحالب، البروتوزوا) وهذه صغيرة جدا بدرجة تحتاج إلى مجهر (ميكروسكوب) لرؤيتها. وتتأثر عوامل كثيرة مثل المطر الساقط، ودرجة الحرارة، والكساء الخضرى، وخواص التربة الطبيعية والكيميائية فى نوع وأعداد الكائنات الحية فى مجتمع التربة. ويوضح جدول ٢ - ١٠ الأعداد النسبية وكثافة الكتلة الحيوية (وزن الكائن لكل وحدة الحجم) للحيوانات والكائنات الدقيقة فى عينة أرض سطحية (لاحظ الأعداد الكبيرة جدا للكائنات الدقيقة).

يمكن أن تقسم الكائنات التى تعيش فى بيئة التربة إلى قسمين رئيسيين هما:

ذاتية التغذية وهى التى تقوم بتمثيل الكربون من ثانى أكسيد الكربون، وتحصل على الطاقة من ضوء الشمس أو من خلال أكسدة المركبات غير العضوية.

عضوية التغذية وهى التى تستخدم الكربون العضوى كمصدر للطاقة والكربون. وتسمى الكائنات ذاتية التغذية **كائنات منتجة** ؛ وذلك بسبب قدرتها على تحويل ثانى أكسيد الكربون والطاقة من الشمس إلى مركبات كربون عضوية، وهى العملية التى تسمى **بالتمثيل الضوئى**، وتعتبر النباتات الوعائية فقط وبعض البكتريا والطحالب كائنات منتجة. من ناحية أخرى، فإن الكائنات عضوية التغذية يشار إليها على أنها **كائنات مستهلكة وكائنات مُحلّة**. وتقع حيوانات التربة ومعظم كائناتها الدقيقة فى هذا القسم.

جدول ٢- ١٠ أعداد وكثافة الكتلة الحيوية للحيوانات والكائنات الدقيقة في
الآفاق السطحية للأراضي.

كثافة الكتلة الحيوية كجم / هكتار	الأعداد		الكائنات
	لكل جرام	لكل م ^٢	
			حيوانات التربة:
١١٠٠ — ١١٠	١ >	٢٠٠٠ — ٢٠٠	ديدان الأرض
١١٠ — ١١	٥١٠ — ٤١٠	٨١٠ — ٧١٠	النيماتودا
١٧٠ — ١٧	متغيرة	٦١٠ — ٤١٠	غيرها
			الكائنات الدقيقة:
٤٥٠٠ — ٤٥٠	٩١٠ — ٨١٠	١٥١٠ — ١٤١٠	البكتريا
٤٥٠٠ — ٤٥٠	٨١٠ — ٧١٠	١٤١٠ — ١٣١٠	الأكتينومييسيتات
١١٢٠٠ — ١١٢٠	٦١٠ — ٥١٠	١٢١٠ — ١١١٠	الفطر
٥٦٠ — ٥٦	٥١٠ — ٤١٠	١١١٠ — ١٠١٠	الطحالب
١٧٠ — ١٧	٥١٠ — ٤١٠	١١١٠ — ١٠١٠	البروتوزوا

Brady, 1990.

المصدر:

٢ - ٤ - ٣ - ١ النباتات :

تعتبر الأجزاء الخضرية (فوق سطح الأرض) للنباتات مصدر الغذاء اللازم للكائنات المستهلكة مثل حيوانات الرعى والإنسان. أما أجزاء النبات التي تحت سطح الأرض (مثل: الجذور، الدرنات، الأعضاء الأخرى) تعتبر مصدراً للغذاء اللازم للإنسان والحيوانات، وكذلك أيضاً للكائنات المحللة والمستهلكة في التربة، وهي تؤثر في نوع ونشاط الكائنات الدقيقة التي تعيش في داخل الجذور وحولها.

الريزوسفير هو المنطقة التي حول الجذور والتي تتأثر بوجود الجذور، ويحتوى على كائنات دقيقة تتراوح من ١٠ - ١٠٠ ضعف الموجودة في معظم التربة.

إفرازات الجذور تشمل المواد العضوية وغير العضوية التي توفر العناصر الغذائية للكائنات الدقيقة في منطقة الريزوسفير.

وتؤدى المعيشة التكافلية بين جنور النبات والكائنات الدقيقة إلى العديد من التأثيرات المفيدة لكل من النبات والميكروبات. فالعُقد التي تتكوّن على جنور النباتات البقولية تُسببها البكتريا القادرة على تحويل النتروجين الجوى (N_2) إلى مركبات نتروجينية يمكن استعمالها بواسطة النبات، ويعمل فطر الميكوريزا علاقة تكافلية مع جذور النبات، وتستفيد النباتات من هذه العلاقة عن طريق زيادة امتصاص العناصر الغذائية (مثل: النتروجين، الفوسفور، الكبريت، العناصر الغذائية الدقيقة) والماء.

٢ - ٤ - ٣ حيوانات التربة :

تشمل حيوانات التربة جميع الحيوانات التي تؤثر بطريقة أو بأخرى في خواص التربة ؛ فالحيوانات الكبيرة مثل الماشية والغزلان تؤثر في الأراضي من خلال عمليات الرعى الجائر. وتشمل تأثيرات الرعى الجائر نقص الغطاء النباتي للأرض، وتغييراً في تركيب الأصناف النباتية، وتضاغط التربة واحتمال حدوث انجراف للتربة. أما حيوانات

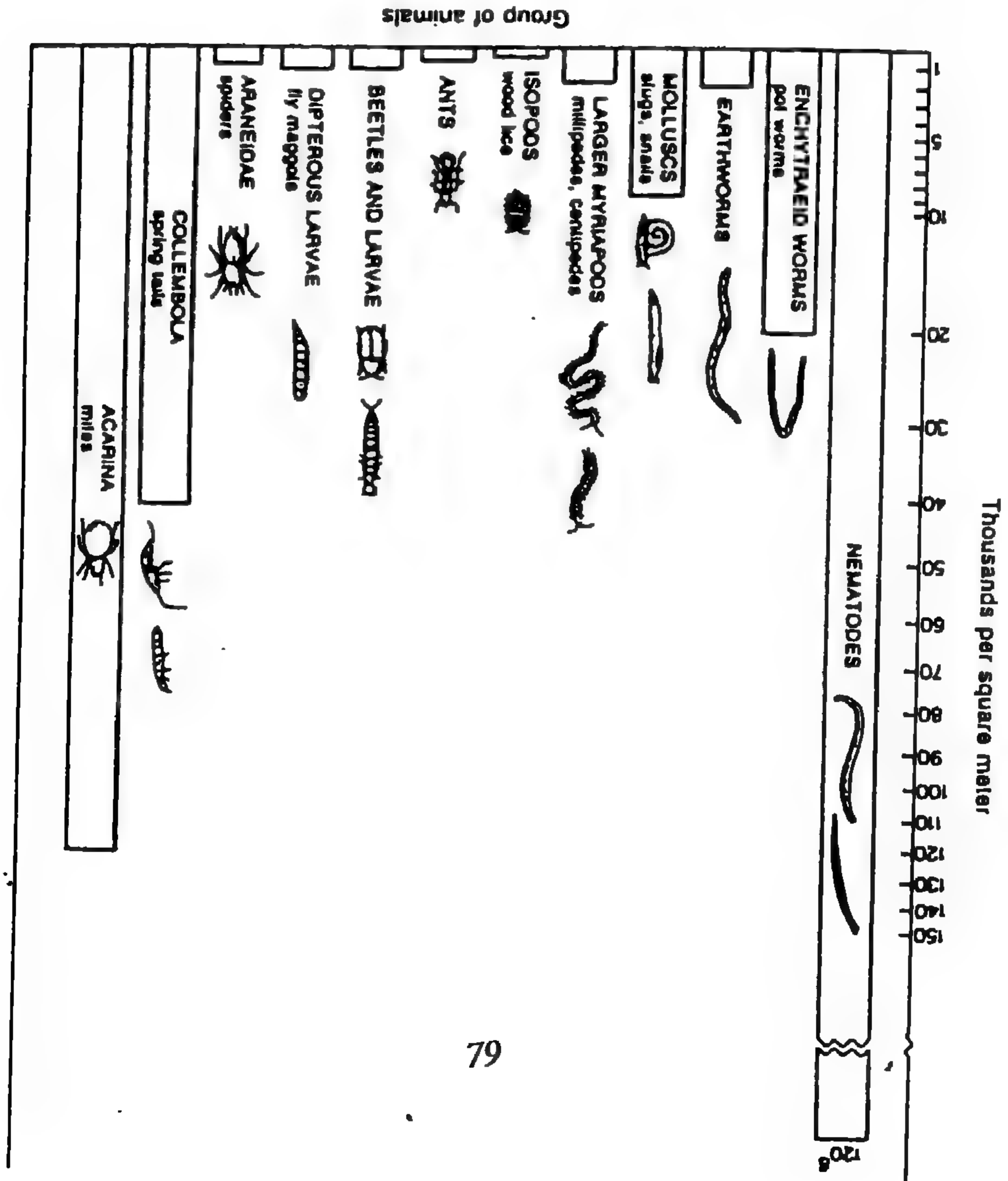
التربة التي حجمها أصغر ولها تأثير كبير على خواص الأراضي فهي التي تحفر جحوراً في الأرض لتقيم وتختبئ فيها ؛ فالسلاحف، والزبابات (آكلات الحشرات تشبه الفئران)، وكلاب البراري، والغُرير، وحيوانات الخلد، والسنجاب، والفئران جميعها تمثل بعضاً من الحيوانات التي تحفر جحوراً في الأرض لتقيم وتختبئ فيها. ويمكن لهذه الحيوانات أن تؤثر بدرجة كبيرة في تطور الأراضي عن طريق خلط مادة سطح التربة بمادة تحت التربة، كما أن الأنفاق والثقوب الناتجة عن هذه الحيوانات تزيد نفاذية الماء والهواء في التربة، كما تشمل حيوانات التربة التي تعيش تحت سطح الأرض المفصليات (مثل النيماتودا، ديدان الأرض) والبروتوزوا. والنيماتودا عامة هي الأكثر شيوعاً بين جميع حيوانات التربة (جدول ٢ - ١٠ ، شكل ٢ - ١٤).

والعديد من الحيوانات المفصلية دور في تحلل المواد النباتية، وتساعد أيضاً في خلط الأجزاء المكسورة في التربة ؛ فالديدان الألفية تعتبر حيوانات رُمّية وتستهلك المواد العضوية الميتة، كما أن النمل والنمل الأبيض، وأيضاً كلاب البراري يمكنها أن تخلط أحجاماً كبيرة من التربة خلال نشاطها في عمل أنفاق.

تلعب ديدان الأرض دوراً مهماً في تكوين الأراضي وتكسير المخلفات العضوية، وهي توجد عادة في الأفق السطحي الغني بالمادة العضوية، ولكن بعض أصنافها تحفر جحوراً لعمق يصل إلى ستة أمتار. وتبلغ ديدان الأرض في داخلها المادة العضوية والتربة ويتم تحليلها بواسطة إنزيمات هاضمة ، وكذلك بفعل الطحن أثناء مرورهما عبر أجسام الديدان . كل يوم ، فإن وزن مادة التربة المبلوعة والخارجة (المفرزة) بواسطة ديدان الأرض يمكن أن تكافئ وزن الديدان. ولقد تم تقدير وحساب كمية مادة التربة المفرزة بواسطة ديدان الأرض سنوياً في هكتار من الأرض ووجد أنها تتراوح من ٧٠ إلى ٢٥٠ ميغا جرام/ هكتار. وبران ديدان الأرض غني في العناصر الغذائية مثل النتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنسيوم مقارنة بمادة التربة الأصلية. ويمثل النوع *Lumbricus Terrestris* دودة الأرض الشائعة، وهي نوع واحد من أكثر من ١٨٠٠ نوع من دودة الأرض المعروفة في العالم.

والنيماتودا عبارة عن ديدان مستديرة غير مقسمة ميكروسكوبية ويتم تصنيفها على أساس عاداتها الغذائية. فالأنواع التي تتغذى على المادة العضوية المتحللة هي الأكثر شيوعاً، بينما تفتقر الأنواع الأخرى البكتريا، والفطر، والطحالب، ونيماتودا أخرى، أو تصيب جذور النبات، ويعتبر التدخين أو التبخير أحد طرق مقاومة النوع الأخير من النيماتودا، ومع ذلك، فإن طريقة المقاومة هذه مكلفة جداً وضارة جداً بالبيئة.

شكل ٢ - ١٤ رسم توضيحي لأنواع حيوانات التربة وأعدادها مقفلة في متر مربع من تربة المراعى. (Paul and Clark , 1989.)



٢ - ٤ - ٣ - ٣ الكائنات الدقيقة في التربة :

تشمل الكائنات الدقيقة في التربة البكتريا، والأكتينومييسيتات، والفطريات، والطحالب، والبروتوزوا. والفيروسات التي يقتصر نموها فقط في داخل خلايا حية أخرى عبارة عن جزيئات من حمض الريبونيكليك (RNA) أو حمض دى أكسى ريبو نيوكليك (DNA) داخل غلاف من البروتين، وسوف نناقشها هنا في هذا الجزء فقط بسبب أنها تلعب دوراً مهماً في علم ميكروبيولوجيا الأراضى، وتحتاج الفيروسات إلى كائن مضيف قابل للحياة وله القدرة على التمثيل الغذائي، وذلك لكي يتكاثر، وهى تُحَفَّر الكائن المضيف على أن يقوم بتصنيع المركبات الضرورية اللازمة لتكاثر الفيروس . وتسبب كثير من الفيروسات أمراضاً للنبات (مثل موزايك الدخان، تجعد أوراق البطاطس) والحيوانات (مثل الحمى القلاعية، واللوكيميا أو ابيضاض الدم البقرى). إن بقاء الفيروسات المرضية للإنسان والحيوان، والتي يُعرف أنها توجد في حمأة المجارى والمخلفات العضوية، أمرٌ مُقلق ومزعج خاصة عندما تضاف هذه المواد إلى الأرض.

البكتريا أكثر الكائنات الدقيقة وفرة في التربة (جدول ٢ - ١٠)، وخلايا البكتريا الفردية تعدُّ أصغر وأصعب ما يمكن رؤيته تحت الميكروسكوب. إن حفنة من التربة تعادل قبضة اليد يمكن أن تحتوى عدة بلايين من الخلايا البكتيرية. وإن قدرة البكتريا على أن تتكاثر بسرعة وتتكيف مع ظروف البيئات الجديدة تمثل عاملاً مهماً في تحلل وانتقال النواتج الطبيعية والبشرية. وبعض الوظائف التي تؤديها البكتريا، إما كلياً أو جزئياً، تشمل: تدوير العناصر الغذائية، وتحلل المواد العضوية، تثبيت النتروجين، أو إزالة سمية المبيد، وتفاعلات التأكسد والاختزال. ويدون قيام البكتريا بهذه العمليات تصبح الحياة، كما نعرف، غير ممكنة.

وتقسم البكتريا إلى : ذاتية التغذية، أو عضوية التغذية، بناءً على مصادرها للطاقة والكربون، كما يمكن أن تقسم أيضاً إلى مجاميع هوائية (تحتاج أكسجين)، لا هوائية (لا تحتاج أكسجين)، اختيارية لا هوائية (تتمو في وجود أو غياب

الأكسجين). ويعتمد نوع ووفرة أى مجموعة من البكتريا على عوامل مثل العناصر الغذائية الميسرة والظروف البيئية للتربة. وتكون بعض البكتريا الهوائية واللاهوائية جراثيم تسمح لها بالبقاء تحت ظروف بيئية معاكسة، خلال فترات الجفاف أو الحرارة العالية.

وظروف التربة التى تؤثر على نمو البكتريا عديدة، وأهمها: الأكسجين، درجة الحرارة، الرطوبة، الحموضة، حالة العناصر الغذائية العضوية وغير العضوية فى بيئة التربة. يكون كل من البكتريا والفطر عادة نشيطا فى الأراضى جيدة التهوية، ولكن فى الأنظمة البيئية المحتوية على قليل من الأكسجين أو التى لا يتوفر فيها أكسجين البتة، فإن معظم التحولات البيولوجية والكيميائية تتحكم فيها البكتريا. ودرجة الحرارة المثلى، والرطوبة المثلى اللازمة لنمو معظم البكتريا هى ٢٠ - ٤٠ °م ، ٥٠ - ٧٥٪ من سعة حفظ التربة للماء، بالرغم من وجود مجاميع خاصة من البكتريا نشيطة عند درجات حرارة ونسبة رطوبة أعلى أو أقل. ويعتبر رقم الحموضة (pH) المرتفع جداً أو المنخفض جداً (الظروف القلوية والحامضية) غير مناسب لمعظم البكتريا، ولكن هناك بكتريا متخصصة نشيطة فى الأراضى التى لها pH أقل من ٢ وتلك التى لها pH أعلى من ١٠.

الأكتينوميستات تشبه البكتريا فسيولوجياً، ومع ذلك، فإن خيوطها الرفيعة المتفرعة تشبه أيضاً الفطريات الخيطية. وفى معظم الأراضى، توجد البكتريا والفطريات بأعداد وفيرة أكثر من الأكتينوميستات (جدول ٢ - ١٠)، ولكن فى بعض الأراضى ذات المناخ الدافئ فإن أعداد الأكتينوميستات قد تفوق أعداد الآخرين. وفى حين أن الأكتينوميستات قد لا تكون مهمة مثل البكتريا والفطريات فى تنفيذ العمليات البيوكيميائية، إلا أنه من المعروف أن للأكتينوميستات دوراً فى تحلل بعض المكونات المقاومة للتحلل من الأنسجة النباتية والحيوانية (مثل: السليولوز، الكيتين، الفوسفوليبيدات)؛ وفى تخليق مواد شبيهة بالدبال من تحول البقايا النباتية ونفايات أوراق النباتات؛ وفى تكسير المخلفات العضوية (مثل: الأسمدة الخضراء، والسماذ العضوى الصناعى، والأسمدة الحيوانية)، حتى عند درجات حرارة عالية؛ وكذلك فى

إصابة النباتات، والحيوانات، والإنسان؛ وفي إفراز المضادات الحيوية أو إنتاج الإنزيمات التي تؤثر في تركيب مجتمع التربة. وما رائحة أو عبير الأراضى إلا عبارة عن نواتج متطايرة لنشاط الأكتينومييسيتات.

الفطريات تحصل على الطاقة والكربون اللازمين لها من تحلل النباتات، والحيوانات، والمادة العضوية الموجودة في التربة. وتوجد في الأراضى مجموعتان من الفطريات وهى: فطريات وحيدة الخلية وتسمى الخميرة، فطريات خيطية عديدة الخلايا (مثل: عفن الخبز، العفن الفطرى، السنّاج، الأصداء)، وهى الأكثر شيوعا. وتوجد الفطريات الخيطية بوفرة في الأراضى الخصبة جيدة التهوية، بينما توجد الخميرة في البيئات اللاهوائية. أما الأجسام الخيطية، التى يسمى مفردا هيفا، وجمعها ميسيليا أو غزل فطرى، فتوجد في شكل غزل داخلى بين حبيبات التربة، والمادة العضوية، وجذور النبات، ويمثل عيش الغراب التركيب التكاثرى الحقيقى لفطريات خيطية قد يكون لها هيفات ممتدة تحت الأرض.

والفطريات وظائف عديدة في الأراضى، من بينها: تحلل المواد النباتية والحيوانية والعضوية، وربط أو تجميع حبيبات التربة وتكوين حبيبات أرضية مجمعة، وتكوين تجمعات تكافلية (ميكوريزا) مع النباتات، والعمل ككائنات مفترسة في مقاومة بعض الكائنات الدقيقة وحيوانات التربة. وفي الطبقات السطحية الحامضية وفي أراضى الغابات، وتكون الفطريات معظم أو غالبية الكتلة الحيوية للتربة، وتكون الأكثر نشاطا في عملية التحلل.

الطحالب تشبه النباتات الوعائية وبعض البكتريا، وهى قادرة على القيام بعملية التمثيل الضوئى بسبب احتوائها على الكلوروفيل. وفي الأراضى الرطبة الخصبة، فإن الطحالب قادرة على إنتاج بضع مئات كيلوجرامات من المواد العضوية لكل هكتار سنويا. والطحالب الخضراء المزرقمة يمكنها أن تثبت النتروجين الجوى في مركبات نتروجين عضوية. والأشنّة lichens، عبارة عن تجمعات تكافلية من طحلب

وقطر، وتعتبر أول مستعمرات للصخر الأملس ومادة أصل التربة. ومعروف عن الأحماض العضوية التي يتم تخليقها وانطلاقها بواسطة الأشنة أنها تقوم بتجوية سطوح الصخور. كما تلعب دوراً مهماً في المراحل المبكرة في تطور الأراضي في بعض المناطق.

البروتوزوا هي حيوانات وحيدة الخلية، وهي ميكروسكوبية في الحجم. وبعض البروتوزوا معروف عنها أنها تصل إلى أبعاد ماكروسكوبية، وهي تتغذى على المادة العضوية المتحللة والكائنات الدقيقة مثل البكتيريا وأحياناً بروتوزوا أخرى، وترتبط أعداد البروتوزوا بأعداد البكتيريا، فحينما تزداد البكتيريا نتيجة إضافة البقايا العضوية للأراضي، فإن البروتوزوا تزداد أيضاً.

٢ - ٤ - ٤ تطور الأراضي :

الأرض جسم طبيعي، ثلاثي الأبعاد مرتبة بنظام رأسي مميز عند سطح القشرة الأرضية. ويعتبر تنوع الأراضي في العالم دالة للعوامل الخمسة الخاصة بتكوين الأراضي (Jenny, 1941)، والتي يمكن التعبير عنها كمايلي:

$$\text{Soil} = F(\text{pm}, r, \text{cl}, o, t) \dots\dots\dots (٢ - ٥)$$

حيث pm = مادة الأصل.

r = المنسوب أو الطبوغرافيا.

cl = المناخ.

o = الكائنات أو الكساء الخضري.

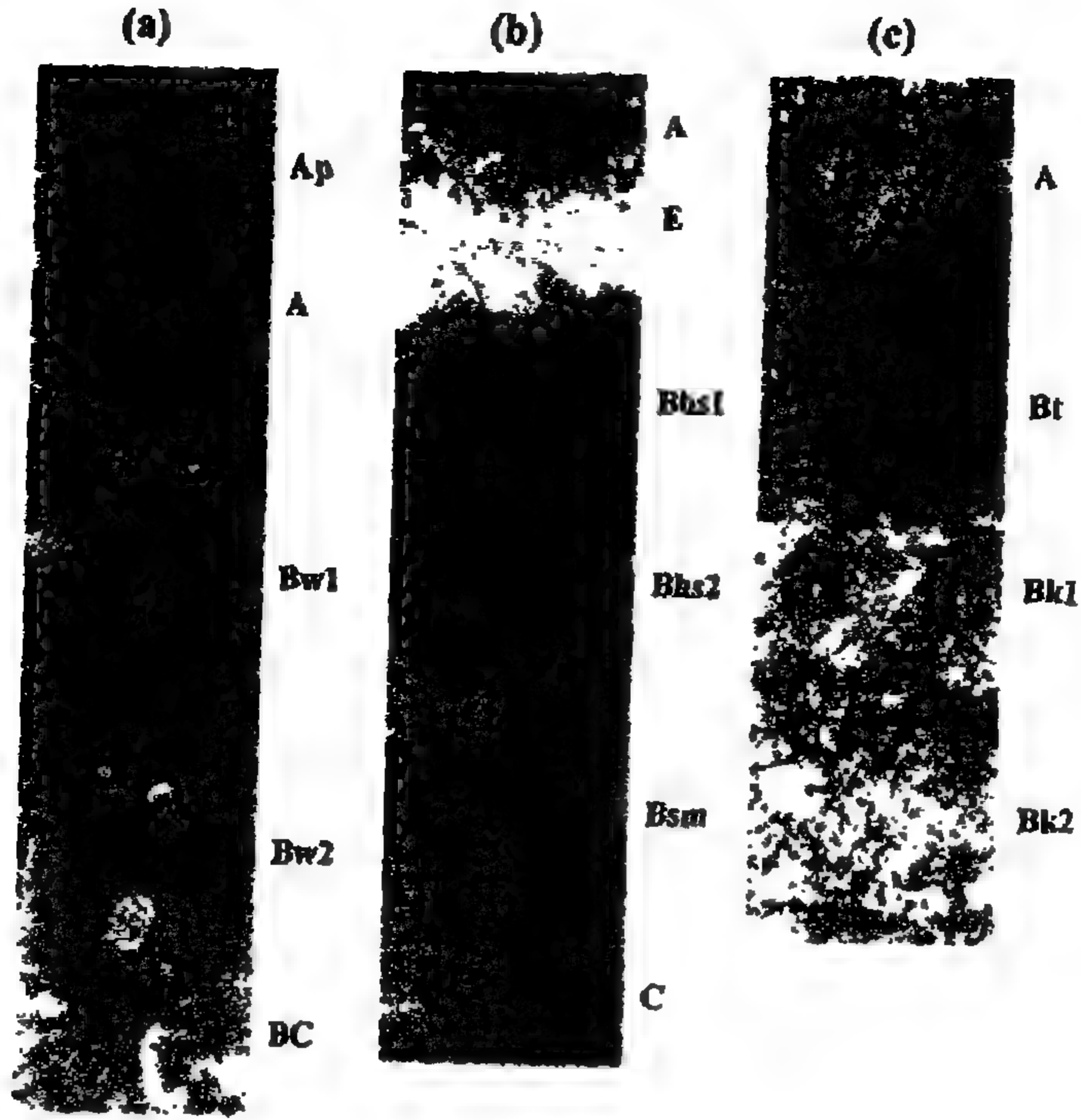
t = الزمن.

وتوضح المعادلة (٢ - ٥) أن تكوين تربة معينة يتم تقديره بمقدار زمن تأثير المناخ والكائنات على مادة أصل موجودة في موضع معين.

نشأة وتكوين الأراضى: هى العملية التى تتكون فيها التربة من مادة الأصل، وتشمل التجوية الفيزيائية والتجوية الكيميائية لحبيبات مادة الأصل، والحركة الفيزيائية للحبيبات، والتغيرات والتحولات المعدنية، وإضافة المادة العضوية، وتكوين الآفاق. وتختلف الأراضى فى نوع الآفاق وسمكها، والقوام، والتركيب البنائى، واللون، والخواص الأخرى الموضحة فى شكل ٢-١٥.

مادة الأصل هى مواد معدنية وعضوية حدثت لها تجوية فيزيائية وكيميائية وبيولوجية لغرض تكوين الأراضى. وتقسم إلى مواد متبقية أو مواد منقولة. وتتكون مواد الأصل المتبقية من تجوية صخور محدودة تشمل صخوراً نارية، ورسوبية، ومتحولة تختلف فى الصلابة، واللون، والتركيب المعدنى، وحجم الحبيبات، والتبلور. ومواد الأصل المنقولة يتم حملها بواسطة الرياح أو المياه مثل: رواسب الرمل، الطين، السلت المنقولة بواسطة الرياح، كما أن حركة الماء السريعة أو الحركة البطيئة للثلاجات قادرة على نقل كميات كبيرة من المواد، وبصفة عامة، فإن المواد المنقولة بواسطة الماء تكون مميزة بحجم واحد من الحبيبات، بينما الرواسب المنقولة بالثلاجات، والمعروفة بـ till، تكون غالباً خليطاً من حبيبات ذات أحجام مختلفة.

المنسوب : ويسمى أيضاً الطبوغرافيا وهو يشير إلى زاوية وطول الميل، وقرب السطح من مستوى الماء الأرضى. تتأثر كمية المياه التى ترشح أو تجرى على سطح التربة فى الغالب بموقع الأرض. كلما زادت زاوية الميل وكلما ازداد طول مسافة الميل، يزداد احتمال حدوث انجراف. وبالإضافة إلى ذلك، فإن اتجاه الميل يؤثر فى كمية أشعة الشمس الواصلة، وهذه تؤثر على درجة حرارة التربة والهواء. وعند منتصف خطوط العرض ؛ حيث يكون تأثير اتجاه الميل أكبر مايمكن، فإن اتجاه الميل غالباً ما يؤثر فى نوع الكساء الخضرى النامى على جوانب الجبال المواجهة للشمال والجنوب. وفى الجبال الصخرية، غالباً ما نشاهد غابات على ميول الجبال المواجهة للشمال، وذلك بسبب درجة الحرارة الأقل ونسبة الرطوبة الأعلى، بينما تسود المراعى التى بها شجيرات كثيفة ملتفة ميول الجبال المواجهة للجنوب.



شكل ٢ - ١٥ أمثلة للقطاع الأرضي لرتب أراضي مختلفة: (a) قطاع إنسيبتيسول (زيروشيت، طمي، مختلطة، دافئة) من كاليفورنيا؛ (b) قطاع سبونوسول (هابلورثود، رملية، مختلطة، باردة) من ميتشجان؛ (c) قطاع موليسول (أرجيوسول، دقيقة، مونتمو ريللونيت، حرارة متوسطة) من يومنج.

وفي مناقشة دور المناخ في تكوين الأراضي، نهتم مبدئياً بشرح كيفية تأثير الأمطار والحرارة في معدلات التجوية والتحلل، وعمليات الانتقال. إن هيئة الترسيب (مطر، جليد) وكميته تُحدِّد كمية الماء التي تدخل الأرض. وبالرغم من ذلك، فطبوغرافية المنطقة يمكن أن تتسبب في تركيز المياه على أجزاء معينة من الأرض. أيضاً، فإن الماء قد يجرف سطح التربة، وفي هذه الحالة يحدث تدهور للتربة. وتكون معدلات التجوية ومعدلات التحلل أسرع عند درجات حرارة أعلى؛ وعلى ذلك فإن ارتباط زيادة الأمطار

مع الحرارة الأعلى سوف يشجع تكوين الأراضي ويشجع أيضا تحلل المادة العضوية. كما أن نوبان الجليد يزيد من غسيل الكيماويات الذائبة غير العضوية والعضوية التي تكونت خلال فترة الشتاء.

تعتبر النباتات والحيوانات والكائنات الدقيقة جزءاً من الكائنات التي هي أحد عوامل تكوين الأراضي. وتقوم النباتات بتدوير العناصر الغذائية التي تأخذها من الجو والتربة وتحولها إلى أنسجة نباتية، وهذه بعد موتها تتحلل بواسطة الكائنات الدقيقة في التربة، ويتم تدويرها أو إرجاعها ثانية إلى التربة. وتتكون المادة العضوية من كل من تحلل النباتات وتفاعلات التخليق بواسطة الكائنات الدقيقة في التربة؛ وتلعب المادة العضوية دوراً مهماً في عمليات التجوية، والتحلل، والانتقال. وتؤثر بعض المركبات العضوية في التربة على رقم الحموضة pH وحركة الأيونات الذائبة وذلك حتى أعماق بعيدة. كما أن تنفس ثاني أكسيد الكربون بواسطة جنور النبات والكائنات الدقيقة له أيضاً تأثير كبير على رقم حموضة التربة، خاصة في المناطق التي يحدث فيها تنفس كثيف. ويمكن للخلط الفيزيائي لحبيبات التربة والمادة العضوية بواسطة حيوانات التربة إما أن يشجع تكوين الأراضي أو يعطلها. فالنمل قادر على جلب مادة التربة الخشنة القوام من أسفل سطح التربة إلى أعلى السطح وذلك لبناء مساكنه. والديدان حيوانات معروف أنها ممتازة في تكوين الأراضي وذلك لقدرتها على تحسين خصوبة التربة وخواصها الفيزيائية.

ويتم وصف الأراضي، في الغالب، بناءً على خواصها المورفولوجية. وتحتوى الأراضي على طبقات موازية تقريبا لسطح الأرض، وتسمى هذه الطبقات بالآفاق، ويمكن تمييزها من واحد لآخر بسبب الفروق أو الاختلاف في القوام واللون والبناء والخواص الأخرى الكيميائية أو الفيزيائية التي يمكن تمييزها بين الآفاق المختلفة (شكل ٢ - ١٥). وتتكون الآفاق من فقد بعض المواد مثل: المادة العضوية، الطين، الحديد والألمنيوم، أو من تراكم هذه المكونات. وتوصف الآفاق أولاً: بواسطة دلالات مميزة للآفاق الرئيسية باستخدام حروف كبير C, B, E, A, O أو R؛ وثانياً: بالاعتماد على خواص آفاق التربة، بواسطة دلالات ثانوية، باستخدام حروف صغيرة

(جدول ٢ - ١١). وتُصنف الآفاق السطحية إلى آفاق O أو A استناداً إلى محتواها من المادة العضوية. وفي المناطق التي تعرضت لانجراف شديد حيث يحدث فيها إزالة لمواد سطح التربة - قد تظهر آفاق E, B, C أو R؛. كما تشيع الأراضي التي فيها آفاق E في أراضي الغابات. وعادة يقع أفق E تحت أفق O أو أفق A، ويتكون كنتيجة لفقد كميات كبيرة من المادة العضوية والطين ومركبات الحديد والألومنيوم (الأكاسيد السداسية). وعادة يكون لون أفق E أخف (فاتح) عن الآفاق التي فوقه أو التي تحته. وتسمى الآفاق التي تتراكم وتتجمع فيها المكونات المنقولة من الآفاق العلوية - آفاق B. ومادة الأصل، وهي المادة الجيولوجية التي تكونت منها التربة، يشار إليها أفق C. أما الصخر المدمج (الصلد) الذي لم يحدث له تغيير، يصنف بأفق R. بالإضافة إلى الآفاق الخمسة الرئيسية التي سبق وصفها، فإن فحص بعض الأراضي يوضح وجود بعض الآفاق التي تظهر خواصاً مشابهة للآفاق التي فوقها أو التي تحتها، وتسمى بالآفاق الانتقالية ويشار إليها بحرفين كبيرين مثل (AB) أو (E/B).

وبعد ذلك يتم تقسيم الآفاق مرة ثانية إلى أجزاء أصغر، لتمييز الخواص الكبيرة أو الصفات التي تفصلها وتميزها عن الآفاق الأخرى؛ فتستخدم الدلالات الثانوية لتسمح لنا أن نميز - على سبيل المثال - أفق B الذي تراكم فيه الطين (Bt) عن أفق B الضعيف التكوين (Bw). ولا تستخدم جميع الدلالات الثانوية مع كل أفق رئيسي، فعند وصف أفق O، يجب على المرء أن يضع في اعتباره حالة تحلل المادة العضوية حتى يتمكن من تقسيم الأفق جيداً في شكل Oa, Oe أو Oi، وقد وضعت هذه الدلالات الثلاث الثانوية للآفاق العضوية فقط. أما الحرف الثانوي p فيستخدم فقط مع حرف الأفق الرئيسي A. وتستخدم معظم الدلالات الثانوية لعمل تقسيم تال (ثانوي) لآفاق B. ومن السهل نسبياً أن نُحدد أي الحروف الصغيرة تستخدم لآفاق B وأحياناً لآفاق C حيث تمثل تلك الآفاق في التربة عمليات التراكم أو التغيرات عن مادة الأصل الجيولوجية للتربة.

جدول ٢- ١١ آفاق الأراضى الرئيسية ودلالاتها الثانوية.

الخواص أو الصفات	
	الآفاق الرئيسية:
سطحي تسود فيه المادة العضوية.	O
معدنى مع تراكم مادة عضوية عند السطح أو تحت O مباشرة.	A
مفسول من المادة العضوية والطين والأكاسيد السداسية.	E
به تراكم للمادة العضوية والطين والأكاسيد السداسية.	B
طبقة مفككة تقع تحت أفق A أو B ولم تتأثر بعوامل تكوين الأراضى.	C
صخر صلد متأثر بسيطاً بعوامل التجوية أو لم يتأثر بالمرّة.	R
	الدالات الثانوية:
مادة عضوية متحللة بدرجة عالية.	a
أفق أرضى مدفون.	b
حصى متحجر.	c
مادة مفككة كثافتها عالية.	d
مادة عضوية متحللة جزئياً.	e
أرض مجمدة.	f
مستوى الماء الأرضى مرتفع.	g
تراكم للمادة العضوية.	h
مادة عضوية غير متحللة نسبياً.	i
تراكم للكربونات.	k
مواد لاحمة أو تقسية.	m
تراكم الصوديوم.	n
تراكم أكاسيد الحديد والألومنيوم.	o
محروقة أو مفككة.	p
تراكم السليكا.	q
حدثت له تجوية.	r
تراكم الأكاسيد السداسية.	s
تراكم الطين السليكاتى.	t
مادة حديد حمراء اللون.	v
متطور بدرجة ضعيفة.	w
كثافة عالية.	x
تراكم الجبس.	y
تراكم الأملاح.	z

٢ - ٤ - ٤ - ١ تصنيف الأراضي واستخدامها :

توجد نظم عديدة لتصنيف الأراضي، تستخدم على مستوى العالم. والتصنيف المستخدم في الولايات المتحدة الأمريكية وفي بلدان عديدة هو Soil Taxonomy، وقد تم إعداده بواسطة إدارة الزراعة الأمريكية (مجموعة حصر الأراضي، ١٩٧٥). وقد صُمم هذا التصنيف ليُقسَّم الأراضي إلى مجاميع اعتماداً على الخواص المورفولوجية والخواص البيئية مثل: الآفاق التشخيصية، قوام التربة، بناء التربة، لون التربة، التركيب المنرالوجي للتربة، رطوبة التربة، درجة حرارة التربة. إنه نظام نسق هرمي يحتوى على (٦) ستة أقسام من التصنيف، ويتدرج من التصنيف العام لجميع الأراضي إلى تصنيف أكثر تفصيلاً، وأكثر تمييزاً. وفيما يلي الأقسام الستة مرتبة حسب الزيادة في التفاصيل:

الرتبة، تحت الرتبة، مجموعة كبيرة، تحت مجموعة، عائلة، سلسلة.

والخطوة الأولى في تصنيف الأراضي هي تحديد الآفاق التشخيصية، وتتكون هذه الآفاق من مجموعتين:

آفاق سطحية (إبيبيدون) وهي التي تتكون عند سطح التربة، آفاق تشخيصية تحت سطحية، وهي التي تتكون تحت سطح التربة (انظر جدول ٢ - ١٢ الخاص بتقسيمات الآفاق وخواصها).

- من بين الآفاق السطحية الستة المدرجة في جدول ٢ - ١٢، هناك أفق واحد فقط، سطحي هيستيك أى نسيجي - يرمز له أفق 0 - ويتركب أساساً من المادة العضوية.

- ومن بين الـ ١٧ آفاق التشخيصية تحت السطحية تشيع آفاق: سبوديك، أرجيليك، ألبيك، كامبيك في أراضي المناطق الرطبة في الولايات المتحدة وكندا، بينما أراضي المناطق الجافة في الولايات المتحدة غالباً لها أفق واحد من الآفاق التشخيصية تحت السطحية التالية: كالسيك، جيبسك، ناتريك، بثروكالسيك. وإن معرفة الآفاق التشخيصية أمر ضروري في تقسيم الأراضي.

وتنحصر الأراضي التي لها أنواع متشابهة من الآفاق التشخيصية في واحدة من (١١) إحدى عشرة رتبة للأراضي (جدول ٢ - ١٣). وتعطى معرفة رتبة التربة صورة عامة عن الصفات المورفولوجية والخواص الكيميائية والفيزيائية المتوقعة للتربة. أما الأقسام الأكثر تفصيلاً في تصنيف الأراضي فتعطى معلومات أكثر تحديداً عن التربة. ويعتبر اسم عائلة التربة هو الأكثر إفادة في الترجمة المباشرة لخواص التربة والبيئة. أما سلسلة التربة فهي تقع تحت أقسام للعائلة، ويتم تمييزها بناءً على خواص معينة للقطاع.

حصر الأراضي: تعتبر تقارير حصر الأراضي (شكل ٢ - ١٦) مصدراً ثميناً للمعلومات لغرض تخطيط استخدام الأراضي. وتحتوى هذه التقارير على معلومات تساعد على اتخاذ القرار الخاص باستخدام الأراضي لأغراض زراعية أو غير زراعية. وبالإضافة إلى تصوير الأراضي وتوضيحها بوحدات خرائط، فإن حصر الأراضي يحتوى على معلومات تفصيلية تفيد في اتخاذ القرار لاستخدام الأرض فيما يخص: إدارة الأراضي، وأراضي المحاصيل، وأراضي الأشجار الخشبية، ومناطق المتنزهات، ومناطق الأراضي الرطبة، كما يعتبر حصر الأراضي مفيداً أيضاً في تقويم الأراضي من ناحية صلاحيتها للرى والصرف، وتوجد قيود للاستخدامات العديدة للأراضي وهي مدونة في جداول توضيحية، وهذه الجداول جنباً إلى جنب مع وصف الأراضي ضرورية للتخطيط الأولي الذي يسبق تحديد مواقع التخلص من المخلفات مثل خزانات المخلفات الأدمية، وبرك الصرف الصحي، ومدافن النفايات الصحية.

جدول ٢- ١٢ خواص الآفاق التشخيصية والدلالات.

الآفاق التشخيصية	الدلالات	الخواص أو الصفات
الآفاق السطحية		
موليك	A	سميك، أسود، بناء جيد، سعة التشبع بالقواعد أكثر من ٥٠٪.
أومبريك	A	يشبه موليك ولكن سعة التشبع بالقواعد أقل من ٥٠٪.
أوكريك	A	فاتح اللون، نسبة المادة العضوية به منخفضة.
أنثروبيك	A	من صنع الإنسان، يشبه موليك، نسبة الفوسفور به عالية.
بلاجن	A	من صنع الإنسان، سميكة (أكثر من ٥٠ سم) ينشأ من التسميد العضوي على مدى طويل.
هيستيك	O	نسبة عالية من المادة العضوية في مناطق رديئة الصرف.
الآفاق تحت السطحية		
أرجيليك	Bt	تراكم طين سليكاني كما يتضح من أغشية الطين الرقيقة.
أجريك	A أو B	تراكم مادة عضوية أو الطين أو السلت تحت طبقة الحرث.
ألييك	E	أفق غسيل، فاتح اللون، فقد طين ومادة عضوية.
كالكسيك	Bk	تراكم الكالكسيت أو الدولوميت.
كامبيك	Bw	متطور بدرجة ضعيفة.
دوريبان	Bm	طبقة صماء بسبب التقسية بالسليكا.
فراجيبان	Bx	ضعيفة التقسية، طبقة هشة.
جيبسيك	By	تراكم الجبس.
ناتريك	Btn	أفق أرجيليك، به نسبة صوديوم عالية، البناء عمودي أو منشوري.
أوكسيك	Bo	حدثت له تجوية بدرجة عالية مع تراكم أكاسيد الحديد والأكسجين ومعادن الطين غير المتعددة.
بتروكالكسيك	By	أفق من الجبس القاسي.
بلاسك	B	أفق أسمنتى رقيق، لونه أسود إلى أحمر، المادة اللاصقة تشمل الحديد، والمنجنيز، و/أو المادة العضوية.
ساليك	Bz	تراكم الأملاح.
سومبيك	B	تراكم المادة العضوية مع انخفاض التشبع بالقواعد.
سبيديك	Bh, Bhs, Bs	تراكم المادة العضوية والأكاسيد السداسية.
سلفوريك	B	التربة عالية الحموضة مع وجود بقع من الكبريت.

Soil Survey Staff, 1975.

المصدر:

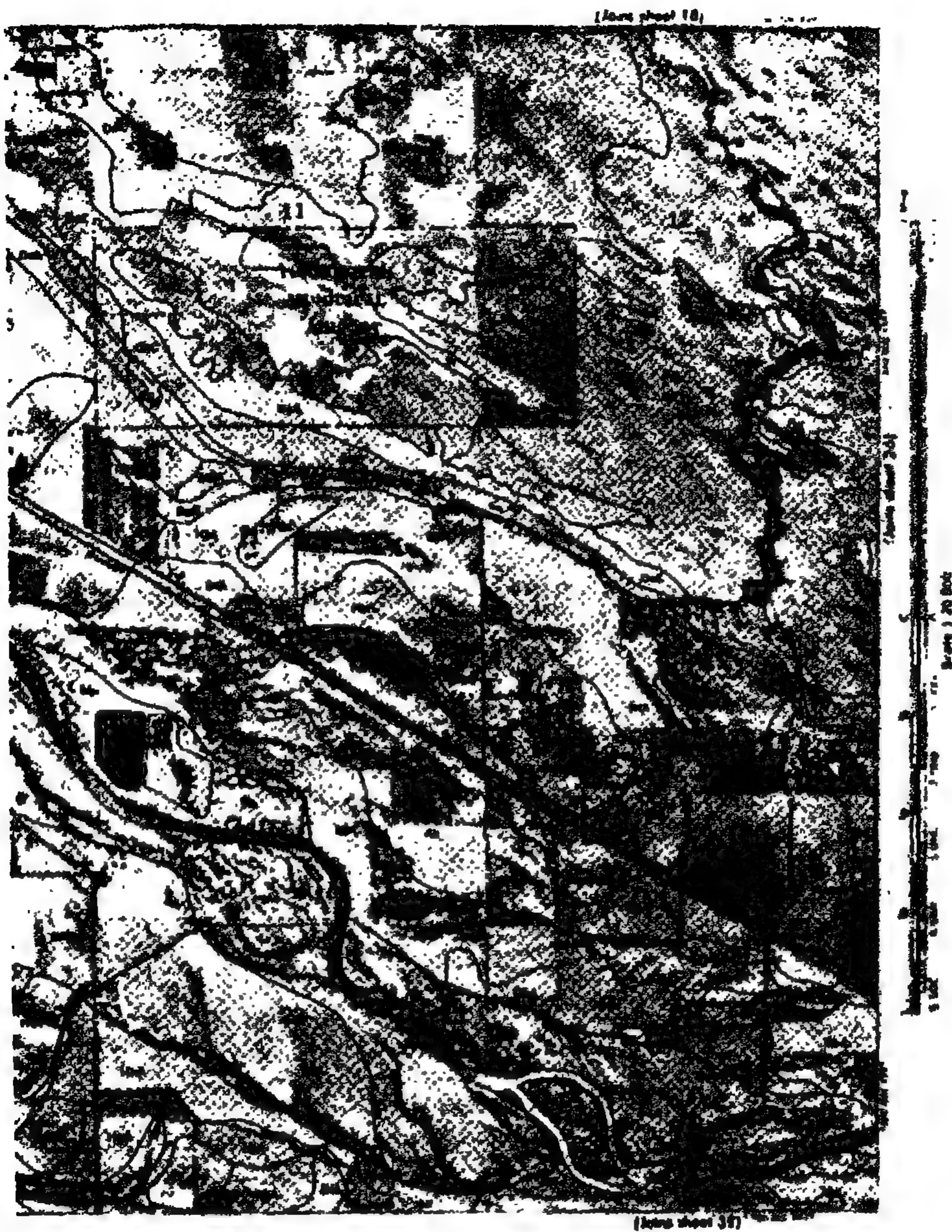
ملاحظة: تستخدم الآفاق التشخيصية لتصنيف الأراضي عند المستويات (الأنساق) العالية في التصنيف العلمي للأراضي.

جدول ٢- ١٣ رتب الاراضى وأوصافها التشخيصية طبقا للتصنيف العلمي للأراضي.

رتبة الأرض	الأفق التشخيصى الشائع	الأوصاف التشخيصية
ألفيسول	أرجيليك / ناتريك	التشبع بالقواعد أكبر من ٥٠٪، ليست موليك أو أوكسيك أو سبوديك.
أنديسول	غير مطلوب	أرض مشتقة من رماد بركاني، المعادن غير متبلورة أو ضعيفة التبلور.
أريديسول	أوكريك	أرض جافة؛ الشائع: أرجيليك، أو ناتريك، أو كامبيك.
إنطيسول	أوكريك	تطور القطاع ضئيل جدا «إسمى».
هستوسول	هيستيك	أرض عضوية؛ بيت أو مستنقع.
إسبييتيسول	كامبريك	الأوصاف التشخيصية قليلة؛ الآفاق الشائعة أو كريك أو أومبريك.
مولليسول	موليك	أرض سوداء عالية التشبع بالقواعد؛ ليست أوكسيك أو سبوديك.
أوكسيسول	أوكسيك	حدثت لها تجوية بدرجة عالية؛ ليست أرجيليك أو سبوديك.
سبودوسول	سبوديك	تراكم مادة عضوية والأكاسيد السداسية؛ الشائع أفق ألبيك.
أولتيسول	أرجيليك	التشبع بالقواعد أقل من ٥٠٪؛ ليست أوكسيك أو سبوديك.
فيرتيسول	غير مطلوب	تحتوى كميات كبيرة من الطين المنتفخ مما يسبب حدوث شقوق عميقة عند الجفاف.



شكل ٢ - ١٦ مثال لخريطة مأخوذة من حصر الأراضي لإقليم جوشن Goshen، ولاية
يومانج Wyoming. وهي تمثل منطقة لها أراضي مميزة ودرجة انحدار خاصة. على سبيل المثال، تقع
مدينة تورينجتون على وحدة الخريطة HnA وهي تمثل أراضي طميية (هاقرسون، ماك كوك)، ودرجة
الانحدار لها صفر - ٣٪. (U . S . Dept. of Agriculture , 1971.)



تابع شکل ۲ - ۱۶

: المراجع

- Brady, N. C., The Nature and Properties of Soils. 10th ed., Macmillan, New York, 1990.**
- Goldman, C. R. and Horne, A. J., Limnology, McGraw - Hill, New York, 1983.**
- Gilluly, J., Waters, A. C., and Woodford, A. O., Principles of Geology, 4th ed., W. H. Freeman, San Francisco, CA, 1975.**
- Jenny, H., Factors of Soil Formation, McGraw - Hill, New York, 1941.**
- Manahan, S. E., Environmental Chemistry, 5th ed., Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1991.**
- Paul, E. A. and Clark, F. E., Soil Microbiology and Biochemistry, Academic Press, San Diego, CA, 1989.**
- Schlesinger, W. H., Biogeochemistry: An Analysis of Global Change, Academic Press, San Diego, CA, 1991.**
- Schulze, D. G., 1989. An introduction to soil mineralogy, in Minerals in the Soil Environment, 2nd ed., Dixon J. B. and Weed, S. B. Eds., Soil Science of America, Madison, WI, 1989, 1.**
- Soil Survey Staff, Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys, Agricultural Handbook No. 436, U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 1975.**
- Soil Survey Staff, Keys to Soil Taxonomy, 5th ed., Technical Monograph No, 19, Soil Management Support Services, Pocahontas Press, Blacksburg, VA, 1992.**
- Spiedel, D. H. and Agnew, A. F., The Natural Geochemistry of Our Environment, Westview Press, Boulder, CO, 1982.**
- Stevenson, F. J., Humus Chemistry: Genesis, Composition, John Wiley & Sons, New York, 1982.**
- U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service (in cooperation with the Wyoming Agricultural Experiment Station), Soil Survey of Goshen County, Wyoming: Southern part, by Stephens, F., Brunkow, E. F., Fox, C. J., and Ravenholt, H. B., 1971.**
- Walker, J. C. G., Evolution of the Atmosphere, Macmillan, New York, 1977.**

مراجع مساعدة:

الغلاف الجوى

- Bach, W., Pankrath, J., and Kellogg, W., Eds., **Man's Impact on Climate**, Elsevier, New York, 1979.
- Benarie, M. M., Ed., **Atmospheric Pollution**, Elsevier Publishing, New York, 1982.
- Sloane, C. S. and Tesche, T. W., Eds., **Atmospheric Chemistry: Models and Predictions for Climate and Air Quality**, Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1991.
- Tegart, W. J. G., Sheldon, G. W., and Griffiths, D. C., **Climate Change: The IPCC Impacts Assessment**, Australian Government Publishing Service, Canberra, Australia, 1990.

الغلاف المائى

- Berner, E. K. and Berner, R.A., **The Global Water Cycle**, Prentice - Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1987.
- Hites, R. A. and Eisenreich, S. J., **Sources and Fates of Aquatic Pollutants**, American Chemical Society, Washington, D.C., 1987.
- Mance, G., **Pollution Threat of Heavy Metals in Aquatic Environments**, Elsevier Applied Science, Essex, England, 1987.
- Van der Leeden, F., Troise, F. L., and Todd, D. K., **The Water Encyclopedia**, 2nd ed., Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1990.

بيئة التربة

- Dixon, J. B. and Weed, S. B., Eds., **Minerals in the Soil Environment**, 2nd ed., Society of America, Madison, WI, 1989.
- Keller, E. A., **Environmental Geology**, Merrill Publishing, Columbus, OH, 1988.
- Page, A. L., Logan, T. J., and Ryan, J. A., Eds., **Land Application of Sludge: Food Chain Implications**, Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1987.
- Singer, M. J. and Munns, D. N., **Soils: An Introduction**, 2nd ed., Macmillan, New York, 1991.
- Smith, M. A., Ed., **Contaminated Land: Reclamation and Treatment**, Plenum Press, New York, 1985.

الفصل الثالث

تصنيف الملوثات

٣ - ١ تعريف مصطلح التلوث : Pollution / Contamination .

قبل مناقشة المسائل البيئية الرئيسية فى علم الأراضى ينبغى تعريف مصطلحي «التلوث» "Pollution" أو «الملوث» "Pollutant"؛ نظرا لاختلاف تعريف هذين المصطلحين من شخص إلى آخر. ويعطى القاموس لهذين المصطلحين مرادفات مثل: غير نقي Impure، غير نظيف Unclean، قذر Dirty، ضار Harmful، ملوث Contami-nated. وبالرغم من أن هذه الكلمات تعتبر مناسبة فإنها لا تقدم تعريفاً فعالاً مفيداً لدراسة البيئة.

والجزء الأول من المشكلة فى تعريف «الملوث» "Pollutant" أو «التلوث» "Pollution" هو أنه ينبغى التوصل إلى اتفاق حول الاستخدام المقبول للمواد التى تسبب التلوث. على سبيل المثال، قد يعتبر البعض أن استخدام المبيدات يعتبر مقبولاً إذا كانوا واثقين بدرجة معقولة من أن تأثير المبيد سوف يكون قاصراً فقط على الغرض المقصود من استخدامه، بينما يرى الآخرون أن أى استخدام للمبيدات غير مقبول. فى الحالة الأولى، يصبح المبيد ملوثاً فقط فى حالة حدوث تأثيرات جانبية غير مرغوبة؛ بينما فى الحالة الثانية يعتبر المبيد بصفة دائمة مادة ملوثة، كما أن تحديد المستوى المقبول من التلوث يمثل طريقة أخرى للنظر فى هذه المشكلة. وستتراوح المواقف (سلوك الأفراد) من: «أى مستوى من الملوث سوف يسبب ضرراً لى» (فئة الفرد المهتم بالبيئة) إلى «لا شىء يؤذنى» (فئة الفرد الأنوى).

والجزء الثانى من المشكلة (فى تعريف الملوّث أو التلوّث) هو التمييز بين المصادر البشرية والمصادر الطبيعية. فقد يُطلق البركان فى الجو كمية من الغازات الضارة والمواد العالقة أكبر من المواد الخارجة من عدد كبير من محطات إنتاج الطاقة الكهربائية، ولكن البعض قد لا يهتم بالمواد المنطلقة من البركان بسبب أصلها الطبيعى. والشئ نفسه يمكن قوله عن أنشطة تعدين المعادن الثقيلة التى قد تلوث الأراضى بالمعادن الثقيلة، ومع ذلك فإن الأراضى المحتوية على تركيزات عالية من المعادن الثقيلة يمكن أن تتكون طبيعياً، بسبب قربها من رواسب خامات هذه المعادن.

ويجب أن يكون واضحاً أن هناك اجتهادات مفيدة مرتبطة بتعريف الملوّث أو التلوّث، ومن المستحيل تغييرها. والتعريف العملى المعقول للملوّث، والذي يأخذ فى اعتباره المشاكل السابقة، هو أنه: «مادة كيميائية من خارج المكان (الموقع)، أو موجودة بمستويات أعلى من التركيزات العادية، ويكون لها تأثيرات عكسية على أى كائن». ويفهم من هذا التعريف أن المبيدات المضافة للأراضى الزراعية لا تعتبر ملوثات فى حالة عدم حركتها تحت منطقة جذور المحاصيل أو سريانها مع مياه الأمطار على السطح. ويمكن اعتبارها ملوثات إذا أضيفت من خارج المكان وبتركيزات عالية تحدث ضرراً لأى كائن. أما المواد المنطلقة من البراكين والأراضى الملوثة بالمعادن والمتكونة طبيعياً، تعتبر ملوثات بسبب وجود مادة كيميائية بمستويات أعلى من التركيزات العادية، ويمكن أن يكون لها تأثيرات عكسية على الكائنات. يقول ميللر Miller ١٩٩١: «إن أى تغير غير مرغوب فى خواص الهواء، والماء، والتربة، والغذاء، ويمكن أن يؤثر عكسياً على صحة، أو بقاء، أو نشاط الإنسان أو أى كائنات أخرى حية - يسمى تلوّثاً "Pollution"؛ وهو يأخذ فى الحسبان أيضاً التلوّث الضوضائى، والتلوّث الحرارى، بالإضافة إلى التلوّث الحادث بواسطة المواد أو الكيماويات. ويعطى كل من التعريفين السابقين اجتهادات ذات قيمة باستخدام عبارة: «من خارج المكان (الموقع)» أو «تغير غير مرغوب».

إن مصطلح «مُلوث contaminated» يستخدم غالباً مرادفاً لمصطلح "polluted"، بالرغم من أن الفروق الدقيقة في تعريفهما يمكن أن توضح أن هذه الممارسة غير صحيحة. ويشير مصطلح contaminated إلى أن تركيز المادة يكون أعلى مما هو موجود طبيعياً، ولكنه لا يعنى بالضرورة أن المادة تسبب ضرراً من أى نوع. بالإضافة إلى ذلك، يشير مصطلح polluted إلى الحالة التي يكون فيها تركيز المادة أعلى مما هو موجود طبيعياً، وتسبب فيها المادة أيضاً ضرراً من أى نوع لأي كائن (كما لوحظ من التعريفين سابقاً). وبناءً على هذا الفهم، فإن التربة يمكن أن تكون contaminated ولكنها ليست polluted ؛ أى أنها ملوثة، ولكن ليست بالدرجة التي تسبب ضرراً من أى نوع لأي كائن.

نسمع كثيراً مصطلحات: مخلفات سامة Toxic wastes، ومخلفات ضارة Haz-ardous wastes، ومواد ضارة؛ وبكل وضوح فإن مثل هذه المواد تعتبر ملوثات pollutants. وتستخدم الصفات المميزة: «سامة» أو «ضارة» للمواد التي يمكن أن تكون باستمرار سامة بشدة للإنسان، وعلى عكس ذلك فبعض الملوثات مثل الرواسب والفوسفور ليست كذلك. ولا يوجد تصنيف نظامي للمخلف السام من وجهة النظر القانونية في معظم الولايات المتحدة الأمريكية.

المخلف الضار: تم تعريفه بواسطة هيئة اكتشاف وصيانة الموارد (RCRA) بأنه: «مخلف صلب يسبب ضرراً بسبب كميته، أو تركيزه، أو خواصه الفيزيائية، أو الكيميائية، أو المرضية». ويتم تعريف الضرر بأنه «المساهمة القوية في زيادة حالات الوفاة، أو الأمراض الخطيرة أو التسبب في أضرار شديدة للإنسان أو البيئة في حالة إساءة المعالجة، أو التخزين، أو النقل، أو التخلص منه». ولقد رُسم المخلف الضار على غلاف المجلة الجغرافية الوطنية (الأمريكية)، عدد مارس، عام ١٩٨٥؛ في هيئة مادة عجينية سوداء يتم تداولها بواسطة شخص مرتدياً ملابس واقية تماماً. وقد لُخص هذا الرسم بذلك الصورة التي لدى معظم الناس عن المخلف الضار. وبالرغم من ذلك،

فعند معظمنا مواد ضارة مُخزّنة تحت أحواض المطبخ في هيئة منظفات مواسير الصرف، ومساحيق التنظيف، ومنظفات الزجاج، ومواد التبييض، إلخ.

ويتم تقسيم التلوث pollution بناءً على مصدره إلى:

(١) تلوث معروف مصدره.

(٢) تلوث غير معروف مصدره.

فالأول – كما يفهم من الاسم – عبارة عن تلوث يمكن بكل وضوح معرفة نقطة انطلاقه (مصدره) مثل تدفق السوائل من محطة معالجة مياه المجارى أو انطلاق الدخان والغازات من المدخنة.

والثاني: تلوث بدون تحديد ولو نقطة مصدر واحدة لانطلاقه مثل مياه الأمطار السارية على السطح، والمحتوية عادة على مبيدات عشبية. وتعتبر مقاومة التلوث لكل منهما مختلفة تماماً عن الآخر ؛ فمقاومة التلوث غير المعروف مصدره يكون صعباً بسبب المساحة الكبيرة التى تشملها، ويتطلب التعامل مع أعداد مضاعفة من ملاك الأراضي والمصادر العديدة. ولعلّ أحد التشريعات الناجحة المبكرة لهيئة المياه النظيفة تجلّى فى نقص تدفق الفوسفور إلى المياه السطحية من مصادره العديدة المعروفة. ولقد كانت هذه المصادر، فى الأساس، محطات معالجة مياه الصرف الصحى. ولقد تمّ استغلال الأموال الاتحادية التى توفّرت، وقامت كثير من المجتمعات بتحسين وتطوير وحدات المعالجة فيها، من وحدات معالجة أولية إلى ثانوية أو مزودة بإمكانيات متقدمة. واستفادت كثيراً من هذا التطوير البيئات المائية الحساسة مثل بحيرة إرى، وبحيرة شيزابيك باى وتحسنت نوعية المياه فيهما، ومع ذلك يظل الفوسفور فى المياه السطحية مشكلة كبيرة فى الوقت الحالى؛ فهو بدايةً غير معروف مصدره فى الأصل، ويأتى من استعمال الأسمدة التجارية والأسمدة الحيوانية فى الزراعة. وهذه المساهمة فى مشكلة الفوسفور سيكون من الصعب جداً إيجاد حلول لها، وسوف يناقش هذا الموضوع بتفاصيل أكثر فى الفصل الخامس.

٣ - ٢ تصنيف الملوثات :

يعرض جدول ٣ - ١ تصنيف الملوثات بناءً على خواصها العامة أو استخداماتها. ويمكن أن يكون لكل قسم تأثير على أكثر من بيئة. كما يمثل كل قسم أيضاً عمليات عديدة أو يشمل عدداً كبيراً من الأفراد؛ فتشمل العناصر النادرة على سبيل المثال أكثر من عشرين عنصراً مختلفاً. ويتكوّن التحمّض من عدة تفاعلات ليس بينها ارتباط، وبعضها يحدث في الجو، وبعضها يحدث في الليثوسفير؛ وهي تنتج نواتج حامضية لها تأثير سلبي على مناطق استقبالها النهائية. وعلى العكس من ذلك تُكوّن الرواسب قسماً مستقلاً وتشمل فرداً واحداً.

ويعكس قسم العناصر الغذائية التأثيرات السلبية للنتروجين والفوسفور عند وجودهما بتركيزات عالية نسبياً. ويُعتبر وجود الفوسفور في المياه السطحية والنترات في المياه السطحية والجوفية أهم مؤشرات المشاكل البيئية، كما تعتبر عمليات الإنتاج الزراعي مسؤولة عن النصيب الأكبر في المشاكل الناتجة عن زيادة العناصر الغذائية. وتأتي أيضاً مساهمات كبيرة من المنازل الخاصة ومن استخدام الأسمدة المعدنية في الزراعة، والمصادر الموجودة طبيعياً، ومناطق معالجة مياه الصرف الصحي، وخزانات التعفين، ووحدات إنتاج الغذاء، واللواجن والمواشي والدواب.

المبيدات: يمثل قسم المبيدات نطاقاً واسعاً من كيماويات غالباً ماتكون عضوية، وتستخدم لمقاومة الأمراض والكائنات المؤذية مثل: الحشائش والأعشاب، والحشرات، والقوارض، وأمراض النبات (انظر الفصل الثامن). مرة أخرى، تعتبر ممارسات الإنتاج الزراعي هي المسؤولة عن معظم استخدامات المبيدات، جنباً إلى جنب مع الاستخدام في المنازل الخاصة، وفي رش البساتين. وتنطلق المبيدات عادة في البيئة بنية مقصودة بمستويات منخفضة، بالرغم من حدوث حوادث غير مقصودة، مثل الانسكاب أو التناثر، وهذه تشمل كميات كبيرة أو ينتج عنها تركيزات عالية.

جدول ٢-١ تصنيف الملوثات والبيئات المتأثرة.

قسم الملوث	أمثلة	البيئة المتأثرة		
		التربة	الماء	
			الجوفى	السطحي
العناصر الغذائية	النتروجين والفوسفور فى الأسمدة المعدنية، والأسمدة الحيوانية، وحمأة المجارى، والمخلفات الصلبة.	x	x	x
المبيدات	المبيدات الحشرية، المبيدات العشبية، المبيدات الفطرية.	x	x	x
المواد الضارة	الوقود، المذيبات، المركبات العضوية المتطايرة.	x	x	x
التحميض	الترسيب الحامضى، صرف المناجم الحامضى.	x	x	x
الملوحة والقلوية	الأملاح من الطرق، مياه الري المالحة.	x	x	x
العناصر النادرة	الفلزات الكاتيونية، الأنبيونات، الأكسيجينية، العناصر الموجودة عادة بتركيزات منخفضة فى الأراضى أو النباتات.	x	x	x
الرواسب	التربة المفقودة عن طريق التجوية بواسطة المياه.			x
المواد العالقة	السناج، التربة المفقودة عن طريق التجوية بالرياح، الأتربة البركانية.			x
غازات الصوبة	ثانى أكسيد الكربون، الميثان، أكسيد النترين، غازات الكلوروفلوروكربون.			x
المركبات المكونة للضبخن	الأوزون، النواتج الثانوية لاحتراق الوقود			x

المواد الضارة: ربما تُكوّن أكبر قسم بين جميع الأقسام. إنه مصطلح فضفاض يشمل جميع المواد السامة بصفة دائمة للإنسان أو الكائنات الأخرى عندما يتم إساءة إدارتها، واستخدامها، والتخلص منها؛ ولا تدخل في باقى الأقسام. وكثير من المواد الضارة عبارة عن مركبات عضوية مشابهة للمبيدات. ومع ذلك، فإن المواد الضارة تنطلق بصفة عامة فى البيئة بدون قصد. كما تشمل مشاكل تلوث التربة عادة الاستخدام غير السليم للمادة الكيماوية محل السؤال، أو التخلص منها، أو الانسكاب والتناثر غير المقصود فى مساحات صغيرة بتركيزات عالية. ويحدث عكس ذلك بالنسبة للاستخدامات العامة للمبيدات؛ حيث تضاف عادة بتركيزات منخفضة إلى مساحات كبيرة؛ وتعتبر ممارسة مقبولة.

قسم التحميض: يشمل عمليات عديدة غير مرتبطة ببعضها البعض ؛. فالطر الحامضى هو النتيجة النهائية لتحول أكاسيد النتروجين والكبريت إلى أحماضها المناظرة فى الجو. ومايهمنا هنا هو المطر الذى له رقم حموضة أقل من رقم الحموضة العادى، وكذلك تأثيره على البيئة، كما يمثل أيضا الصرف الحامضى للمناجم مصدراً آخر للتحميض؛ حيث تصبح المياه حامضية عن طريق التجوية وأكسدة معادن الكبريتيدات، وخاصة البيريت (FeS_2). ومثل هذا الماء يمكن أن يكون له رقم حموضة أقل من اثنين (٢) ويمكن أن يكون له تأثير شديد على نظم التربة والمياه السطحية. مثال آخر لذلك هو تلك الأراضي التى أصبحت حامضية بعد الاستخدام الكثيف لأسمدة النتروجين الأمونيومية بدون معادلة الحموضة (الناتجة من عملية النترية) بإضافة الجير.

والمشاكل الأساسية المصاحبة للملوحة والقلوية هى نقص فى الإنتاج النباتى بسبب الجهد المائى الراجع إلى زيادة الجهد الإسموزى والتغيرات فى خواص التربة الفيزيائية (حبيبات متفرقة مع انخفاض فى النفاذية) وذلك عندما تصبح تركيزات الأملاح أو الصوديوم عالية جدا. ويعتبر الرى بمياه تحتوى على تركيزات أملاح عالية

أوبها مستوى عالٍ من الصوديوم بالنسبة للكالسيوم والمغنسيوم السبب الرئيسى لهذه المشاكل. كما يعتبر سريان مياه الأمطار من الطرق مُحَمَّلة بـكلوريد الصوديوم على الأرضى التى تقع على جانبى الطرق مصدراً للملوحة والقلوية وإن كانت أقل درجة.

العناصر النادرة: هى تلك العناصر التى توجد عادة بتركيزات منخفضة فى الأرضى أو النباتات. وقد تكون ضرورية لنمو وتطور الإنسان أو الكائنات الأخرى، بالرغم أن كثيراً منها ليست ضرورية. والعناصر النادرة التى تهتمنا كملوثات هى تلك التى تسبب مشاكل صحية بصفة مستديمة للإنسان، أو الحيوان، أو النبات، أو الكائنات المائية عندما توجد بتركيزات أعلى من الحدود الحرجة المسموح بها (انظر الفصل السابع).

الرواسب: تمثل حبيبات التربة التى حدث لها انجراف وحُملت إلى المياه السطحية. وتشمل المناطق الأكثر تعرضاً للانجراف مواقع الإنشاءات، والمزارع المحروثة حديثاً، والمراعى التى حدث لها رعى جائر. وتستطيع الرواسب، فيزيائياً، أن تمنع مرور الضوء خلال الماء، وهذا يمكن أن يُغيّر من بيئة المياه، ويمكن أن تصبح المياه غنية بالفوسفور وبالتالي تستطيع أن تُعجل من حدوث ظاهرة التشبع الغذائى؛ ويمكنها أن تعمل كمصادر أو بالوعات للعديد من ملوثات المياه. وأيضاً قد تتجمع الرواسب فى المياه السطحية وتعوق نشاط الملاحة والتنزه وتقلل من عمر مبانى السدود.

المواد العالقة، وغازات الصوبة، والمركبات المكوّنة للضبخن (مزيغ من الضباب والدخان):

وهذه المواد جميعها تعد ملوثات للهواء ؛ فالمواد العالقة عبارة عن حبيبات غير نشطة نسبياً معلقة فى الهواء الجوى، وتتكون أساساً من الكربون، والتراب، ورماد البراكين ... إلخ. وغازات الصوبة هى الغازات المسئولة عن تأثير الصوبة، أو تأثير ظاهرة الاحتباس الحرارى. والأخير عبارة عن زيادة فى تركيز الغازات المختلفة فى

الهواء الجوى - بصفة أساسية غاز ثانى أكسيد الكربون، والميثان، وأكسيد النيتروجين، وغازات الكلوروفلوروكربون - التى تجعل الأمر صعباً جداً للحرارة المشعة أن تهرب إلى الجو، وينتج عن ذلك زيادة فى متوسط درجة الحرارة على مستوى العالم عن الدرجة الموجودة حالياً بدون تأثير الإنسان. على أن بعض غازات الصوبة من صنع الإنسان، والبعض الآخر يتكون طبيعياً، بالرغم من أن تركيزاتها تتزايد فى الغلاف الجوى بسبب النشاط البشرى. أيضاً فإن بعض عمليات إنتاج الغذاء تزيد من تركيز بعض غازات الصوبة. أما المركبات المكونة للضبخن ماهى إلا عناصر العملية المعقدة لإنتاج الضبخن.

وسوف نناقش العناصر الغذائية، والمبيدات، والمواد الضارة، والعناصر النادرة، والتحميض، وغازات الصوبة، بتفصيل أكثر فى الفصول التالية. أما موضوعات الرواسب، والمواد العالقة، والملوحة، والمركبات المكونة للضبخن فهى لا تدخل فى نطاق هذا الكتاب.

٣ - ٣ جودة التربة :

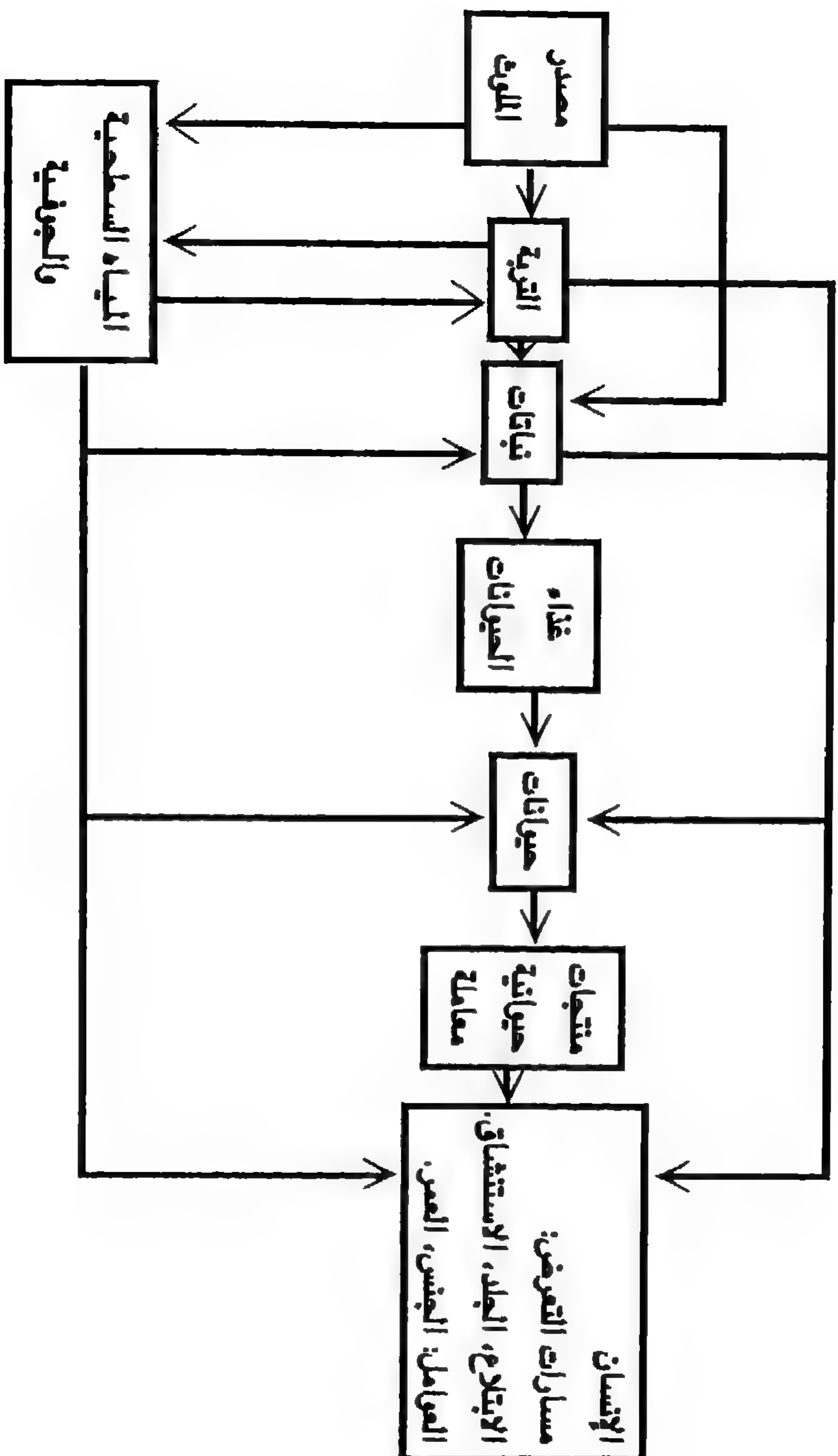
تمثل جودة التربة جزءاً مهماً فى هذا الكتاب، وتقاس بطرق عديدة تعتمد على عوامل مثل الاستخدام المطلوب لمواد التربة. وبأوسع معنى، فإن الخواص الفيزيائية والخواص الكيميائية تحدد جودة التربة. فالخواص الفيزيائية - مثل: الكثافة الظاهرية، القوام، النفاذية، الرشح، قدرة الحفظ للماء، الخواص البنائية - يمكن قياسها كمياً وربطها بجودة التربة. والخواص الكيميائية - وهى تركيزات المكونات العضوية وغير العضوية التى تُحدّد خواص الأراضى مثل: خصوبة التربة، النشاط البيولوجى، درجة التلوث، الملوحة، التآكسد (التاكل)، جهد الانكماش والتمدد - يمكن أيضاً تقديرها كمياً وربطها بجودة التربة. وفى الواقع، فإن معظم هذا الكتاب يناقش جودة الأراضى مع التركيز الشديد على العناصر الغذائية، والمبيدات، والمواد الضارة، والعناصر النادرة.

ومن الناحية العملية، فإننا نهتم بموضوعات مثل قدرة التربة على إنتاج الغذاء، أو الألياف، أو الأعلاف؛ والخواص البنائية والخواص المحددة؛ والقدرة على المحافظة على النظام البيئي أو الاستخدام المرغوب للأرض، وهذه يشار إليها أحيانا بوظائف التربة، كما أن قدرة التربة على إنتاج الغذاء، أو الألياف، أو الأعلاف تشير إلى المساهمة التي تقوم بها التربة في قدرة موقع ما على الإنتاج المربح من المحاصيل الخالية من المواد الضارة. وعلى ذلك فإن جودة الموقع تشمل التوافق المرغوب لخواص التربة (بما في ذلك تركيزات منخفضة للملوثات)، والمناخ، والماء الميسر. أما الخواص البنائية والخواص المحددة فهي موضوعات خارج مجال هذا الكتاب، وتشير بصفة أساسية إلى الخواص الكيميائية والمنرالوجية التي تؤثر على خواص الأراضي مثل قدرة الإنتفاخ والإنكماش والتآكل التي، بالتالي، تُحدد الصلاحية لإنشاء أدوار سلفية تحت الأرض أو لدفن مواد في الأرض.

يمكن شرح القدرة على المحافظة على النظام البيئي أو الاستخدام المرغوب للأرض بالمثال التالي: لو أن تربة ماتكونت تحت غابة استوائية ممطرة، ولها القدرة على المحافظة على هذا النظام البيئي، فإنه بمنطقنا العقلي تُعتبر هذه التربة عالية الجودة. ولو أزيلت الغابة وحل محلها محاصيل فإن إنتاج المحاصيل المربحة يمكن المحافظة عليه لعدة سنوات قليلة فقط؛ وذلك راجع إلى النقص السريع في المادة العضوية في التربة، ومايصحبه من استنفاد للعناصر الغذائية ونقص في نوعية أو جودة التربة الفيزيائية، بسبب التعرض إلى ظروف مؤكسدة وتعرية سريعة تحدث عند سقوط كميات غزيرة من الأمطار على سطح التربة العاري. وبعد وقت قصير، فإن عوامل التعرية والتغيرات في خصوبة التربة سوف تجعل التربة غير قادرة على المحافظة على النظام البيئي للغابة الممطرة أو على الاستخدام المرغوب للأرض (إنتاج المحاصيل)، وسوف تقل بسرعة جودة التربة. وعلى العكس من ذلك في حالة الأراضي في المنطقة الوسطى الغربية من الولايات المتحدة الأمريكية، حيث أزيلت منها غابات الأشجار الخشبية بغرض إنتاج المحاصيل. وفي هذه الحالة، تستمر التربة في قدرتها على إنتاج محاصيل مريحة وأيضا في دعم الكساء الخضري الأصلي.

٣ - ٤ تعرض الإنسان لملوثات التربة :

يمثل شكل ٣ - ١ رسماً تخطيطياً لمسارات تعرض الإنسان للملوثات المضافة للأراضي، ولعل أكبر مُكوّن في هذا التخطيط هو سلسلة غذاء الإنسان حيث تُستخدم المحاصيل مباشرة بواسطة الإنسان أو تتغذى عليها الماشية، وتُستخدم المنتجات الحيوانية كغذاء للإنسان. وتدخل أيضاً المصادر السطحية أو الجوفية لمياه الشرب في هذا الشأن. وإنه من الضروري أن نُجزّي الخطوات العديدة التي يسلكها ملوث ما كلّما تقدّم ابتداءً من الامتصاص بواسطة النبات إلى استهلاك الإنسان لأنسجة الحيوان المعاملة، وكلّما انتقل الملوث من قسم إلى آخر، فإن عمليات عديدة يمكن أن تؤثر في الكمية التي سوف تصل إلى الإنسان في نهاية المطاف. وعلى سبيل المثال، فإن التشريعات المحددة للتركيزات القصوى المسموح بها لعنصر الرصاص والكاديوم في الأراضي تسمح بتركيزات أعلى جداً للرصاص إذا قورن بعنصر الكاديوم، بالرغم أن الرصاص أكثر سمية للإنسان عن الكاديوم ؛ وهذا بسبب أنه، عند تركيزات متساوية لكل من الرصاص والكاديوم في التربة، تكون تركيزات الرصاص في النباتات أقل بكثير جداً من تركيزات الكاديوم، وبالتالي، فإن انتقال الرصاص في السلسلة الغذائية سوف يكون أقل بكثير. وبطريقة مماثلة، يمكن للملوثات أن تنقسم إلى أجزاء عديدة في داخل جسم الحيوان، كما تقوم الدهون، ولحوم الأعضاء، وأنسجة العضلات بتجميع تركيزات مختلفة للملوث معين. وعلى سبيل المثال، فإن مركبات Poly-(PCBs) chlorinated biphenyls عبارة عن دهن ذائب، يتجزأ أو يتكسر بشدة في أنسجة الدهون بالمقارنة بأنسجة العضلات. ويستخدم بعض الباحثين معامل الانتقال لوصف التغير في تركيز الملوث عندما ينتقل من التربة إلى النبات، ومن النبات إلى الحيوان ... إلخ. وبكل وضوح، فإن كلّ ملوث يتطلب مجموعة فريدة من معاملات الانتقال، والتي يمكن أن يكون لها قيم تتراوح من قرب الصفر إلى ١٠٠٠ أو حتى أكثر.



شكل ٢ - ١ مسارات تعرض الإنسان للملوثات المضافة إلى الأراضي

وبالإضافة إلى الانتقال في السلسلة الغذائية، توجد مسارات عديدة أخرى عن طريقها يتعرض الإنسان إلى ملوثات التربة، وهي موضحة في شكل ٣ - ١؛ فيمكن للملوثات أن تصل إلى المياه السطحية والجوفية، وهذه تضاف مرة أخرى إلى التربة كمياه رى أو يبلعها الإنسان والحيوان مباشرة، كما يمكن لحيوانات الرعى والأطفال الرضع ابتلاع التربة مباشرة. ويتعرض الأشخاص الذين يستنشقون حبيبات الأتربة للملوثات الموجودة في هذه الأتربة، ويمكن أيضا للأطفال الذين يبتلعون أى شئ في أيديهم أو الأطفال المعوقين المرضى (الذين لديهم رغبة غير عادية لأكل مواد غير مناسبة للاستهلاك البشرى، وبخاصة مواد التربة أو مواد الرسم) أن يستهلكوا مباشرة كميات كبيرة من التربة. وهذه المسارات الإضافية يجب أيضا أخذها في الاعتبار عند اتخاذ القرارات المنظمة؛ فالأطفال المعوقين، على سبيل المثال، يمكن أن يغيروا التشريعات المنظمة لمستويات الرصاص في التربة بسبب أنهم أكثر عرضة للخطر عن غيرهم من الأفراد الآخرين المعرضين للخطر عن طريق الانتقال في السلسلة الغذائية.

ويمثل الشكل رقم ٣ - ١ ملخصاً بسيطاً جداً لبعض العمليات أو التحولات المعقدة، وبالرغم من ذلك، فإنه يغطى الخطوات الكبيرة الرئيسية التي توضح في تعرض الإنسان للملوثات التربة، ويمكن للمرء أن يرسم أشكالا مماثلة لأى كائن، وسوف تظهر مراجع هذا الشكل خلال صفحات هذا الكتاب.

٣ - ٥ القضايا البيئية الرئيسية في علم الأراضى :

ملخص :

يستطيع المرء أن يقوم بتجميع قائمة طويلة جدا من المشاكل البيئية الفردية التي لها علاقة بعلوم الأراضى، ويمكن أن تشمل القائمة مشاكل مثل: التسرب أو الرش من خزانات المياه الجوفية، والأراضى الملوثة بالعناصر النادرة، والأراضى المالحة، والأراضى التي حدثت لها تعرية، والأراضى التي حدث لها تسميم. ولعله من المفيد

والمناسب أن تعرض أقسام القضايا البيئية الرئيسية في علوم الأراضى. على أن معظم هذه القضايا تقع في واحد أو أكثر من الأقسام التالية:

(١) انخفاض جودة التربة بسبب احتوائها تركيزات غير مقبولة من الملوثات :

يشمل هذا القسم الأراضى التى يتعرض الإنسان أو الكائنات الأخرى إلى ملوثاتها والتى قد تسبب تأثيرات ضارة إما بطريقة مباشرة أو من خلال تحول السلسلة الغذائية.

هذا القسم كبير ومنتشر بدرجة كبيرة ويشمل المشاكل الناتجة عن أقسام المبيدات، والمواد الضارة، والعناصر النادرة المدونة فى جدول ٣ - ١.

(٢) انخفاض فى جودة التربة يحد من وظيفتها :

الأراضى التى تعرضت للتعرية، أو التى حدث لها تدمير، أو الأراضى المتأثرة بالملوحة، والتى لم تعد تستطيع أن تدعم الاستخدام المحدد لها أو للنظام البيئى، تقع فى هذا القسم. أمّا التأثيرات الضارة المباشرة للإنسان أو للكائنات الأخرى بسبب التعرض للملوثات فليست إحدى قضايا هذا القسم.

(٣) الأراضى كمصدر للملوثات :

يشمل هذا القسم فقد الكيماويات أو المواد العديدة من الأرض مع مياه الرشح أو الأمطار الجارية على السطح. وهنا، فإن وجود مادة مافى التربة ليست هى المشكلة الأساسية، ولكن المهم هو تأثيرات هذه المادة على البيئة عندما تترك أو تبتعد عن الموضع الأصلي لإضافتها. وعلى ذلك، فإن الانخفاض فى جودة التربة كما توضحه التحاليل الكيميائية ليس هو القضية أو المشكلة بالضرورة، ولكن المشكلة هى التعارض

بين وظيفة التربة أو استخدامها والبيئة المحيطة ؛ فالاستخدامات الزراعية والبستانية للمبيدات والعناصر الغذائية تعتبر هنا أمثلة رئيسية. ويتطلب حل هذه المشاكل في الأساس فهم ومعرفة جميع المخاطر، وأولويات استخدام الأراضي، والجودة المرغوبة للبيئة.

وتكون استجابة المجتمع إلى قضايا علم الأراضي البيئية مختلفة. فتُعَدُّ التشريعات التي تمنع تلوث الأراضي أو التي تقاوم استخدام مواد تعتبر ملوثات، كما تُجرى البحوث على طرق علاج الأراضي الملوثة وفهم مصير وانتقال الملوثات في البيئة. وتُنفَّذ مشاريع حكومية لكي تمنع تدهور جودة الأراضي بواسطة التعرية. ومع ذلك، هناك أعمال كثيرة مطلوبة تتعلق بفهم تفاعلات بيئة التربة مع الملوثات الخطيرة؛ من أجل استخدام الأراضي لنفع المجتمع مع المحافظة - في الوقت نفسه - على جودة التربة.

المراجع :

- Brams, E., Anthony, W., and Witherspoon, L., Biological monitoring of an agricultural food chain: soil cadmium and lead in ruminant tissues, J. Environ. Qual., 18,317, 1989.
- Miller, G. T., Environmental Science: Sustaining the Earth, Wadsworth Publishers, Belmont, CA, 1991.

مراجع مساعدة:

- Hillel, D. J., Out of the Earth, Civilization and the Life of the Soil, The Free Press, A Division of Macmillan, New York. 1991.
- Nebel, B. J., Environmental Science: The Way the World Works, Prentice - Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1991.
- Wagner, T. P., Hazardous Waste: Identification and Classification Manual, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.

الفصل الرابع

نتروجين التربة والجودة البيئية

٤ - ١ النتروجين والبيئة :

يعتبر النتروجين (N) من الناحية الجدلية أهم عنصر من بين جميع العناصر الغذائية للنبات، ومع ذلك فهو أكثرهم صعوبة في إدارته. ومن الناحية المطلقة، هو عنصر حيوى للزراعة الحديثة، إلا أنه ثبت أيضاً أن له عدداً من التأثيرات البيئية الخطيرة جداً، طبقاً لما تم تلخيصه في جدول ٤ - ١، وسيلقى هذا الفصل الضوء على النتروجين في الأراضى الزراعية، مع إيضاح القضايا ذات الأهمية العظمى الخاصة بإدارة نتروجين التربة إدارة بيئية سليمة، وسوف يتم عرض بعض الحالات التى تختلف اختلافاً كبيراً عن الزراعة التقليدية (مثل: استصلاح الأراضى، البستنة الحضرية، علم الغابات) وذلك لإيضاح الأساليب المختلفة اللازمة لإدارة نتروجين التربة بكفاءة في نظام بيئى تساهم فيه المدن، والمزارع، والصناعات، وسوف نبدأ بالأسئلة الجوهرية الآتية:

* ماهو الأساس فى القضايا العمومية فيما يخص تأثير النتروجين على صحة الإنسان والحيوان، وبوره فى تلوث المياه السطحية والجوفية، وتكوين الأمطار الحامضية، وتدمير طبقة الأوزون فى الستراتوسفير؟

* كيف يمكننا استخدام معلوماتنا عن العمليات الكيميائية والبيولوجية العديدة والمعقدة الخاصة بدورة نتروجين التربة لهدف تحسين إدارتنا لجميع مصادر النتروجين، من الأسمدة المعدنية إلى الأسمدة الحيوانية، وحماة المجارى، والمواد العضوية الصناعية؟

جدول ٤ - ١ ملخص المشاكل البيئية المرتبطة بالنتروجين.

المشكلة البيئية	المسببات والتأثيرات
صحة الإنسان والحيوان: المثيموجلوبينيما	استهلاك مياه شرب وأطعمة تحتوى على نترات بتركيزات عالية؛ مهم بصفة خاصة للأطفال حيث أنه يعطل انتقال الأكسجين فى الدم.
السرطان	التعرض لمركبات النتروسوأمينات الناتجة من تفاعل الأمينات مع مركبات النترون، ازداد سرطان الجلد بزيادة التعرض للأشعة فوق البنفسجية بسبب تدمير طبقة الأوزون.
التسمم بالنترات	ابتلاع الماشية طعاما أو مياه تحتوى نترات بتركيزات عالية.
تدمير النظام البيئى: تلوث المياه الجوفية	غسيل النترات من الأسمدة المعدنية، والأسمدة الحيوانية، والحمأة، والمخلفات السائلة، وخزانات الصرف الصحى؛ يمكن أن تؤثر على صحة الإنسان والحيوان، والحالة الغذائية للمياه السطحية.
التشبع الغذائى للمياه السطحية	النتروجين الذائب أو المرتبط بالرواسب الناتجة من التعرية، أو سريان المياه على السطح، أو انسياب المياه الجوفية، ويدخل هذا النتروجين فى

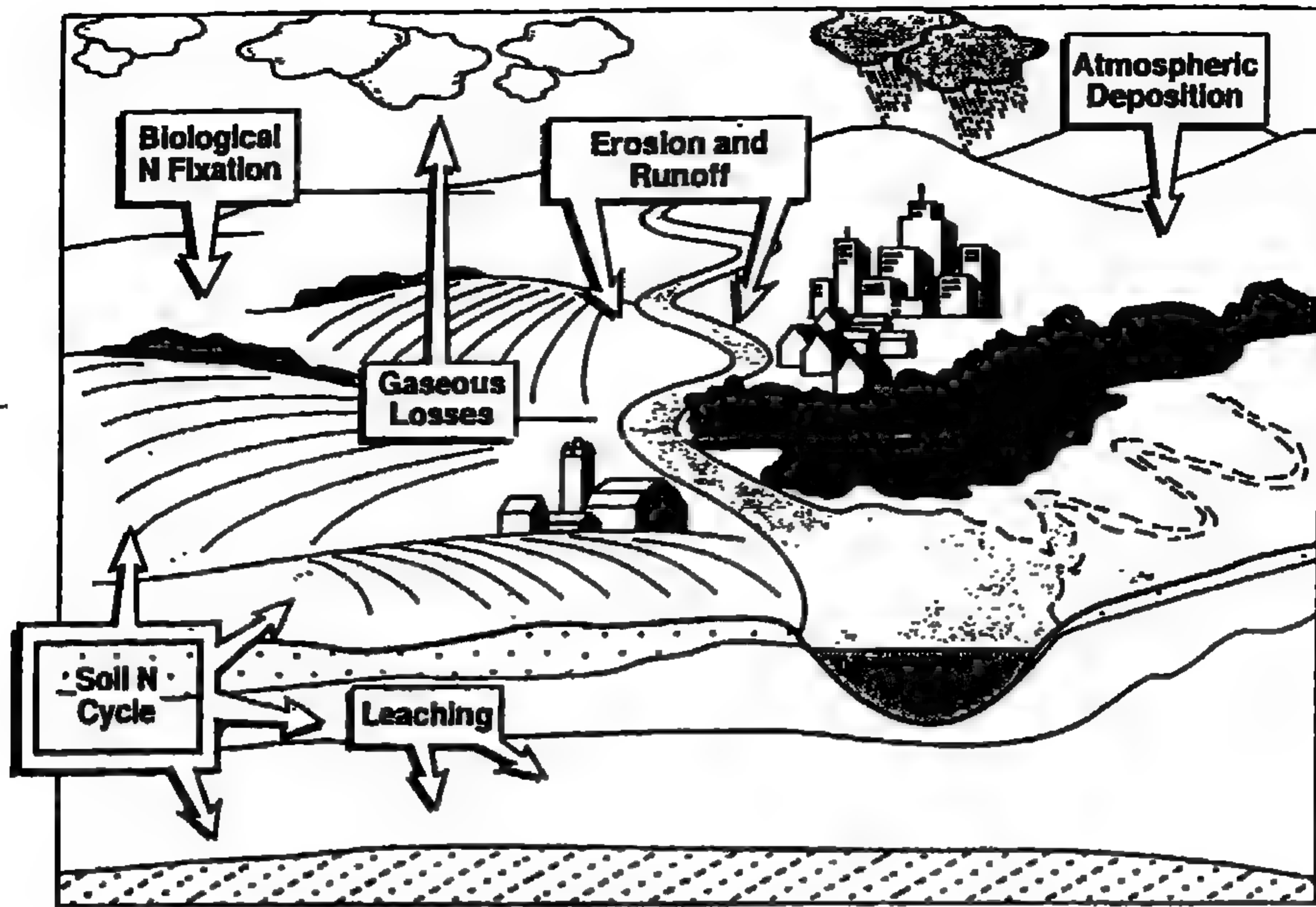
<p>المياه السطحية؛ الاتسياب المباشر للنتروجين من وحدات معالجة مياه الصرف الصحي والصناعي؛ الترسيب الجوي للأمونيا وحمض النتريك؛ التدهور العام لجودة المياه والتنوع البيولوجي للمياه العذبة. عودة حامض النتريك الناشئ من تفاعل أكاسيد النتروجين مع الرطوبة في الجو إلى النظام البيئي الأرضي في هيئة مطر حامضي، أو جليد، أو ندى، أو ضباب (الترسيب الرطب) أو في هيئة مواد عالقة (الترسيب الجاف)؛ تحدث تدميراً للكساء الخضري الحساس، وتحميضاً للمياه السطحية، - وكما هو الحال مع ظاهرة التشيع الغذائي - يحدث تغيير غير مرغوب في التنوع البيولوجي في البحيرات، والجداول، والخلجان.</p>	<p>الترسيب الحامضي</p>
<p>انتقال أكاسيد النتروز الناتجة من احتراق الوقود الحفري عن طريق الصناعات والمركبات، ومن عملية عكس التأزت التي تحدث للنترات في الأراضي - إلى طبقة الستراتوسفير في الجو حيث يحدث تدمير للأوزون؛ وتزداد الأشعة فوق البنفسجية الساقطة على سطح الكرة الأرضية وتؤدي إلى حدوث تدفئة على مستوى العالم.</p>	<p>استنفاد الأوزون في طبقة الستراتوسفير، وتغير المناخ العالمي.</p>

(Keeney, 1982.)

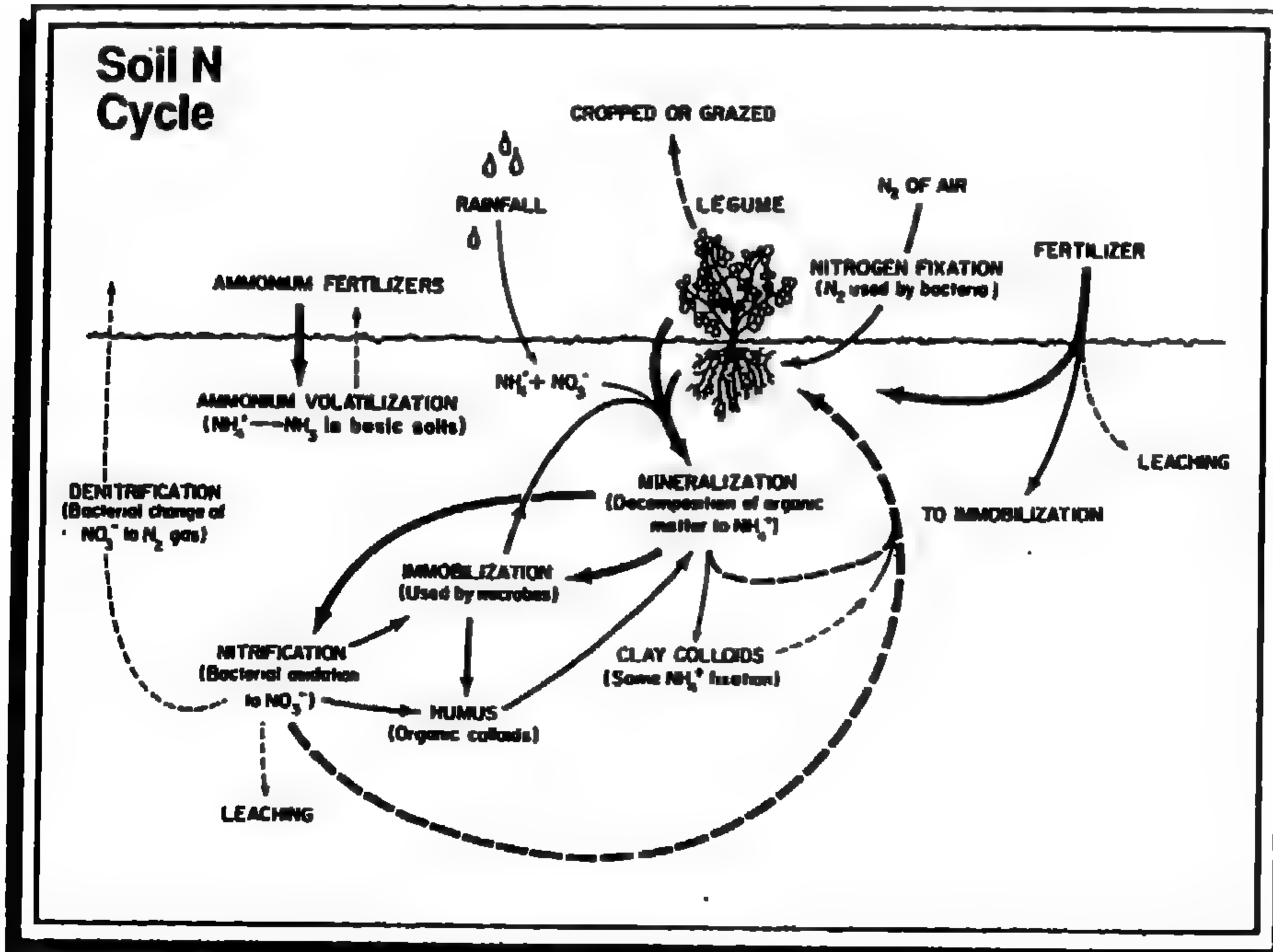
٤ - ١ - ١ أصل وتوزيع النتروجين في البيئة :

لكي نفهم جيداً المشاكل البيئية التي يسببها النتروجين، ولكي نُطور أساليب فعالة بتكلفة معقولة لإدارة النتروجين، فمن الضروري أن يكون لدينا فهم جيد بأصل النتروجين ودورته في الأغلفة الرئيسية الأربعة المحيطة بالأرض وهي: الليثوسفير، والغلاف المائي، والغلاف الجوي، والغلاف الحيوي (انظر الفصل الثاني الذي يناقش هذه الأغلفة). ومعظم (< ٩٨٪) نتروجين الأرض موجود في الليثوسفير، إما في قلب الأرض في الصخور النارية والرسوبية والرواسب البحرية، أو في الأراضى. الـ ٢٪ الباقية موزعة بين الغلاف الجوي، والغلاف المائي، والغلاف الحيوي. ويوجد النتروجين في الغلاف الجوي بصفة أساسية في صورة غاز نتروجين N_2 غير نشط، وهو يمثل ٧٨٪ من غازات الغلاف الجوي. أما في الغلاف المائي، فيوجد النتروجين في صورة نتروجين ذائب عضوي أو غير عضوي. كما أن النتروجين أيضاً مُكوّن حيوي للغلاف الحيوي، الذي يتكوّن من النباتات والحيوانات الحية. ويمكن أن يوجد النتروجين في صور مختلفة في هذه الأغلفة، بما في ذلك النتروجين في صورة جزيئية، وجزيئات عضوية، ومواد جيولوجية، وغازات، وأيونات ذائبة.

والنتروجين عنصر ديناميكي بدرجة كبيرة، قادر على أن يتحول، بيوكيميائياً أو كيميائياً، خلال سلسلة من العمليات يمكن تلخيصها في مايسمى دورة النتروجين (شكل ٤ - ١). وتشمل معظم تحولات النتروجين تفاعلات أكسدة (فقد الكترونات) أو تفاعلات اختزال (اكتساب الكترونات) بواسطة ذرة النتروجين عن طريق كل من الوسائل البيولوجية والكيميائية. وتتراوح حالات تأكسد النتروجين في الطبيعة من (+5) في أنيون النترات (NO_3^-) إلى (-3) للأمونيا (NH_3) أو الأمونيوم (NH_4^+). وتعتبر دورة النتروجين (شكل ٤ - ٢) المشروحة بالتفصيل في قسم ٤ - ٢ جزءاً من دورة النتروجين الكلية. وفي هذا الفصل نحاول أن نوضح كيف تؤثر إدارة دورة نتروجين التربة في باقى الأقسام الأخرى لدورة النتروجين العالمية مثل الطبقات الصخرية الحاملة للمياه الجوفية في الغلاف المائي.



شكل ٤ - ١ دورة النتروجين العالمية، وتوجد دورة نتروجين التربة موضحة بالتفصيل في شكل ٤ - ٢.



(Danahve et al. 1983.)

شكل ٤ - ٢ دورة نتروجين التربة.

وبصفة عامة، يوجد ثلاث مدخلات طبيعية كبيرة فى دورة نتروجين التربة وهى:
الترسيب الجوى، التثبيت الحيوى للنتروجين، والتجوية والتحلل. ويحدث الترسيب الجوى فى صورة نتروجين غير عضوى ونتروجين عضوى فى الأمطار أو المواد العالقة الجافة والتثبيت الحيوى للنتروجين عبارة عن تحول نتروجين الهواء الجوى الغازى إلى أمونيا وبعد ذلك إلى نتروجين عضوى بواسطة الكائنات التكافلية وغير التكافلية. أما تفاعلات التجوية والتحلل فهى تلك العمليات التى يتحول فيها النتروجين العضوى أو غير العضوى الثابت (السابق تثبيته أو الذى سبق ترسيبه فى صورة نتروجين عضوى أو غير عضوى) إلى صور كيميائية أو بيولوجية أكثر نشاطاً. وتشمل العمليات الطبيعية الكبرى التى عن طريقها يُفقد النتروجين من التربة - الانطلاق فى صورة غاز (تطاير الأمونيا، عكس التأزت الكيميائية أو البكتيرية للنترات)، وعمليات الانتقال فى صورة نتروجين ذائب فى المياه الراشحة خلال الأراضى (الغسيل) أو فى المياه والرواسب المتحركة على سطح التربة (التعرية وسريان مياه الأمطار). وتشمل إدارة نتروجين التربة، بصفة أساسية، علاج أو استكمال هذه العمليات الطبيعية (مثل التسميد) لإنتاج النباتات لغرض الحصول على الغذاء أو الألياف، أو للزينة. وتنشأ الاهتمامات البيئية بالنتروجين عندما يؤدى أحد هذه التحولات إلى تحويل وتركيز النتروجين فى صورة يمكن أن يكون لها تأثيرات عكسية على صحة أى كائن وجوده أى بيئة. ويجب أن نتذكر أنه بالرغم من أن صوراً قليلة فقط للنتروجين تعتبر حالياً ضارة بيئياً، إلا أن عمليات دورة النتروجين تنظم - على المستوى العالمى والمحلى - كمية النتروجين الموجود فى كل صورة من هذه الصور. وعلى ذلك فإن مقاومة التلوث الحادث بواسطة النتروجين يبدأ بفهم كيف يمكننا أن نتحكم فى دورة النتروجين فى الأراضى وفى النظم البيئية الأخرى.

إن التقديرات العالمية للتغيرات طويلة المدى فى توزيع النتروجين بين هذه الأغلفة الأربعة مشكوك فيها. وبالرغم من ذلك، فإن النشاط البشرى أظهر تأثيراً واضحاً فى هذا التوزيع، فقد جعل هذا النشاط بعض قطاعات بيئة الكرة الأرضية غنية

بالنتروجين، بينما - فى نفس الوقت - استنفذه من مناطق أخرى. وكثير من المظاهر الأساسية للحضارة الحديثة - مثل الزراعة، والتحضر، والصناعة، والنقل، ونظم معالجة المياه أو المخلفات - لها القدرة على إحداث تأثير كبير فى توزيع النتروجين على المستوى المحلى، وكذلك فى توزيعه تراكميا على المستوى العالمى. ولسوء الحظ، فإن حركة أى عنصر مثل النتروجين، الراجعة لفعل الإنسان، إلى أى جزء من البيئة حيث يكون لها فيه تأثير سلبى - تعتبر فى الغالب مرادفة للتلوث. وبالرغم من أنه (كما يرى فى جدول ٤ - ١) توجد مجموعة متنوعة واسعة للتأثيرات البيئية الناتجة عن إعادة توزيع النتروجين، من وجهة نظر إدارة نتروجين التربة، فإن صور النتروجين ذات الأهمية القصوى هى النتترات (NO_3^-) وأكاسيد النتروز ($\text{N}_2\text{O}, \text{NO}$). وبالرغم من أن فهمنا بعيد عن الكمال بالنسبة للآليات التى تسبب التلوث بالنتترات وبأكاسيد النتروز، فتوجد لدينا معلومات أساسية عن العمليات والوسائل التى تساعدنا على تلافى هذا التلوث.

٤ - ١ - ٢ تأثير النتروجين على صحة الإنسان والحيوان :

هناك شك بسيط فى أن المياه الجوفية، وبالتحديد مياه الشرب الملوثة بالنتترات تمثل فى الوقت الحاضر المشكلة البيئية التى تلقى أكبر اهتمام فى إدارة النتروجين. وإن أهم أمراض الإنسان والحيوان المرتبطة باستهلاك زيادة من النتترات من مياه الشرب، أو حتى من بعض الأغذية التى تمثل جزءاً من غذاء الإنسان والحيوان، هى: الميثيموجلوبينىميا (أعراض الطفل الأزرق) واحتمال التأثيرات المسرطنة لفئة أخرى من المركبات النتروجينية وهى النتروزأمينات. ولا تحدث، مباشرة، أعراض مرض الطفل الأزرق بواسطة النتترات، ولكنها تحدث عندما تختزل النتترات (NO_3^-) إلى نترت (NO_2^-) بواسطة البكتريا الموجودة فى القناة الهضمية للإنسان والحيوان. بعد ذلك يقوم النترت بأكسدة الحديد فى جزئ الهيموجلوبيين من Fe^{2+} إلى Fe^{3+} ، مكونا ميثيموجلوبيين، الذى لا يستطيع أن يؤدى وظائف الهيموجلوبيين فى الانتقال الضرورى

للأكسجين. وهذا يؤدي إلى تلون جلد الأطفال الرضع باللون الأزرق، ومن هنا جاء أصل مصطلح أعراض الطفل الأزرق. ويمثل مرض الميثيموجلوبينيميا مشكلة غاية في الخطورة للأطفال الرضع عنها في البالغين؛ لأنه بعد سن ٢ - ٦ شهور فإن الحموضة في معدة الإنسان تزداد لدرجة كافية تُوقف نشاط البكتريا التي تحول النترات إلى نيتريت. وبالرغم من أن الحالات الرسمية لمرض الميثيموجلوبينيميا نادرة جداً، فإن وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA) قد حددت حداً أقصى للملوث وهو ١٠ ملليجرام نتروجين في اللتر (٥٤ ملليجرام نترات في اللتر) وذلك لتحقيق الأمان لمصادر مياه الشرب في الولايات المتحدة الأمريكية. والحيوانات أيضاً حساسة لمرض الميثيموجلوبينيميا، بالرغم من أن حد الأمان المسموح به للماشية أعلى بكثير من الإنسان، فهو يبلغ حوالي ٤٠ ملليجرام نتروجين في اللتر (١٨٠ ملليجرام نترات في اللتر) للماشية.

وتكمن المشكلة الصحية الكبيرة للنتروجين في التأثيرات السرطانية الخطيرة للنتروز أمينات، وهي مركبات ذات بناء كيميائي عام $R_2N-N=O$. حيث تمثل R مجموعة كربون (مثل -CH₃). وتتكون النتروز أمينات تحت ظروف الحموضة الشديدة (رقم حموضة أقل من ٤) من تفاعل الأمينات الثانوية والثلاثية (R_2NH, R_3N) مع حمض النتروز اللامائي (N_2O_3). وقد لوحظ أنها تحدث أوراما للحيوانات في المعامل، ولكن الدليل الحاسم على الدور المسبب للنتروز أمينات في سرطان الإنسان غير موجود حتى الآن.

٤ - ١ - ٣ النتروجين وعملية التشبع الغذائي :

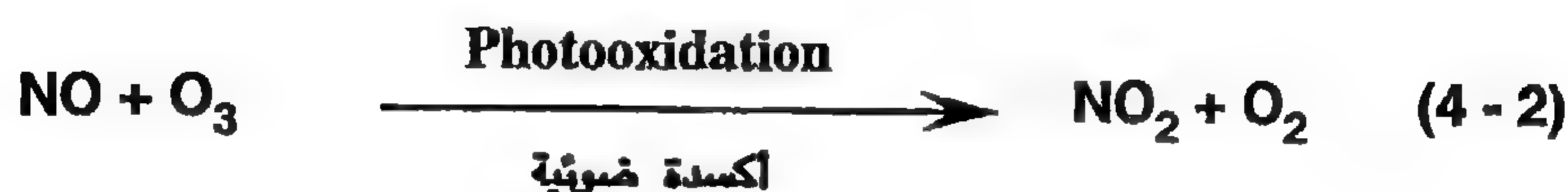
تعرف عملية التشبع الغذائي بأنها زيادة في حالة العنصر الغذائي في المياه الطبيعية التي تسبب نمواً سريعاً للطحالب والنباتات المائية، واستنفاد الأكسجين الذائب، وعكارة زائدة، وتدهور عام لجودة المياه. وإن أسباب ظاهرة التشبع الغذائي وإدارتها مشروحة بالتفصيل في الفصلين الثاني والخامس، ولكن إغناء البحيرات، والبرك، ومصبات الأنهار بالنتروجين والفوسفور من مياه الأمطار السارية على السطح

أو من تدفق المياه الجوفية - تعتبر من العوامل المشاركة في حدوث هذه الظاهرة، كما أن مستويات النتروجين اللازمة لتشجيع عملية التشبع الغذائي في المياه العذبة والمياه عند مصبات الأنهار؛ منخفضة بدرجة كبيرة عن القيم الموجودة في مياه الشرب الملوثة. وبالرغم من اختلاف التقديرات واعتمادها بدرجة كبيرة على نسبة $P : N$ في المياه، يشيع استخدام تراكيزات $0.5 - 1.0$ ر. م. ليغرام نتروجين في اللتر كأرقام حدية لبداية حدوث عملية التشبع الغذائي. والبيئات البحرية أكثر حساسية؛ لأن مستويات الملوحة بها أعلى، وعلى ذلك فلها مستويات بداية أقل للنتروجين (> 0.6 ر. م. ليغرام نتروجين/ لتر). ومن المهم أن نتذكر أن النتروجين في المياه السطحية يعكس المدخلات الزراعية (غير معروف، في الأساس، نقطة انطلاقها في الطبيعة) وكذلك مدخلات النتروجين من الصرف المباشر لمياه الصرف الصحي من البلديات، والصناعة، وتطوير مناطق الاستجمام. ويساهم أيضا الترسيب الجوي في هيئة كل من المطر (المطر الحامضي) والمواد العالقة، وتثبيت النتروجين الجوي عن طريق الكائنات المائية؛ في الكمية الكلية المتجمعة للنتروجين في المياه السطحية.

٤ - ١ - ٤ التأثيرات الجوية للنتروجين: الترسيب الحامضي وطبقة الأوزون:

اتضح أن للنتروجين ثلاثة تأثيرات خطيرة على الغلاف الجوي للكرة الأرضية، وبسبب هذه التغيرات الجوية تعزى تأثيرات النتروجين على جودة البيئات الأرضية والمائية. يتكون حمض النتريك (HNO_3) بصفة أولية عن طريق انطلاق أكاسيد النتروز (N_2O, NO) إلى الجو خلال احتراق الوقود الحفري، وهو يعتبر مكوناً رئيسياً للمطر الحامضي. وأوضحت الدراسات أن المطر الحامضي (رقم حموضة أقل من ٥.٦)، والضبب الحامضي، والترسيب الجاف للمواد العالقة الحامضية يمكن أن يؤثر سلباً وبدرجة خطيرة على النظم البيئية للغابات والمياه السطحية، ولكن حتى الآن فإن التأثير على الأراضي الزراعية والمحاصيل قليل إلى الحد الأدنى.

واتضح أن أكاسيد النتروز تسبب أكسدة ضوئية للأوزون (O_3) في الستراتوسفير؛ وتسبب انخفاضاً في قدرة طبقة الأوزون على حماية الكرة الأرضية من الإشعاع فوق البنفسجي الكثيف المنبعث من الشمس، كما تساهم في تدفئة الكرة الأرضية. وفيما يلي تفاعلات أكاسيد النتروجين مع الأوزون:



وبالإضافة إلى احتراق الفحم، والبترو، والجازولين، فإن عملية عكس التأزت البيولوجية تعتبر مصدراً رئيسياً (غير معروف نقطة انطلاقه) لأكاسيد النتروجين (N_2O, NO)، والتي فيها تقوم الكائنات الدقيقة في التربة باختزال النترات NO_3^- إلى أكسيد النتروز (N_2O) تحت ظروف نقص الأكسجين، كما يمكن أن تحدث أيضاً في التربة عملية عكس التأزت الكيميائية وتؤدي إلى انطلاق أكاسيد النتروجين تحت الظروف جيدة التهوية. ولقد نوقشت هذه العمليات جميعها بالتفصيل في قسم ٤ - ٢ - ٢. والتأثير الثالث عبارة عن دور ثاني أكسيد النتروجين في تأثير غازات الصوبة الزجاجية للنشاط البشري، وسوف نناقشه في الفصل العاشر.

٤ - ١ - ٥ تقويم خطر التلوث بالنتروجين:

إن التأثيرات البيئية للنتروجين التي ذكرت سابقاً مؤنقة على كل من المستوى المحلي، والإقليمي، والعالمي. وعلى عكس بعض صور التلوث، فإن التأثيرات العكسية للنتروجين ليست واضحة بدرجة مباشرة كما أن مستوى الخطر ليس واضحاً أيضاً.

ولو أخذنا فى الاعتبار الطبيعة المحدودة للوسائل الميسرة التى تستخدم لتسكين (لتخفيف) جميع صور التلوث، وكذلك الأهمية الحرجة للنتروجين لإنتاج الغذاء، فإن التقويم السليم المناسب لهذا الخطر ضرورى من أجل وضع أولويات الجهود لعلاج التلوث بالنتروجين. وسوف يتم وصف العملية التى تستخدم لتقويم الخطر تفصيلاً فى الفصل الحادى عشر، ولكن توجد، فى الوقت الحالى، نقاط معينة واضحة بالنسبة للتلوث بالنتروجين وإدارة التربة.

أولاً: هناك إدراك شعبى واضح بأن الزراعة تساهم فى تلوث المياه السطحية والجوفية بالنتروجين عن طريق التسميد غير المناسب والإدارة غير السليمة للمخلفات العضوية. وبالرغم من أن البحث العلمى أثبت هذا الأمر، إلا أنه أوضح أيضاً أن تلوث المياه الجوفية بالنتترات غالباً ما يكون محلياً فى طبيعته ويرتبط مع مشاكل إقليمية خاصة مثل : الأراضى جيدة الصرف، ومستوى الماء الأرضى الضحل، والانتاج الحيوانى عالى التركيز، والرى المكثف، والتخلص من المخلفات ومياه الصرف الصحى بواسطة البلديات أو الصناعة. ويؤكد الثقل الناتج من اتحاد الإدراك الشعبى والتوثيق العلمى أن الخطر سوف يواجه بواسطة الوكالات العلمية والاستشارية والتشريعية. والخلاصة، أن هناك اتفاقاً كافياً بين جميع الأحزاب على أن الخطر موجود، ومن الضرورى أن يكون هناك التزام من مصادر التلوث بأن تقلل تأثيراتها. وعلى العكس، فإن التأثيرات الجوية لأكاسيد النتروجين الناشئة من الأراضى الزراعية ليست مفهومة تماماً (أو مفهومة بدرجة أقل بكثير). علاوة على ذلك، فإن الدور الأكبر للصناعة والمناطق الحضرية فى توليد أكاسيد النتروجين يجبرنا أن نوجه جهودنا لمكافحة التلوث أولاً ناحية المصادر غير الزراعية، وفى نفس الوقت فإن انبعاث النتروجين من الأراضى يجب أن ينخفض إلى الحد الأدنى.

ثانياً: يجب أن نعترف بأن هناك عقبات كبيرة لتخفيض التلوث بالنتروجين الناشئ من كل من الأراضى الزراعية وغير الزراعية. وتؤدى فى الغالب الضغوط لإنتاج

كميات متزايدة من الغذاء مع ثبات مساحة الأراضي الصالحة للزراعة، إلى استخدام معدلات نتروجين أعلى، وفي الغالب أقل كفاءة؛ حيث يحل نتروجين السماد محل نتروجين التربة في عملية الإنتاج . وإن الحاجة إلى المحافظة على ربحية المزرعة وعلى التكاليف المنخفضة للسماد النتروجيني تؤيد استخدام التأمين على عملية التسميد للتغلب على فقد النتروجين غير المتوقع الذي تسببه حوادث المناخ التي يتعذر السيطرة عليها. كما أن طبيعة الزراعة الحديثة المعتمدة على الحيوانات تركز العناصر الغذائية المأخوذة من الأراضي، والأسمدة، والنتروجين العضوي في المناطق التي ليس بها مساحات كافية من الأراضي للاستخدام المناسب للنتروجين. وهناك سيناريو مشابه للمخلفات العضوية التي تنتج في المدن (مثل حمأة المجارى). وإن تحول المراعى والغابات إلى أراضى زراعية لإنتاج محاصيل سنوية يمكن أن يؤدي إلى انطلاق النتروجين العضوي المخزون لمدة قرون طويلة وذلك عبر فترة قصيرة من الزمن نسبيا، وهذا يزيد احتمال إغناء المياه السطحية والجوفية بالنترات. ويمكن أن يسمح تطوير مناطق الاستجمام بالقرب من أجسام المياه الحساسة، بتسرب النتروجين من خزانات المخلفات الأدمية إلى المياه الجوفية، كما أن التسميد الزائد للأعشاب في المناطق الحضرية يمكن أن يجعل ماء المطر السارى غنياً بالنترات. ومن الواضح أن التكنولوجيا، والتعليم، والجهود، والنفقات اللازمة لتصميم وتنفيذ التحسينات في استخدام النتروجين لأى من هذه السيناريوهات هائلة. ولذلك فإن عمل أولويات للخطر أمر له أهمية قصوى.

وفي النهاية، من المهم أيضا أن نعترف بأهمية الزمن اللازم لحل المشكلة ؛ فالمياه الجوفية التي تلوثت بالنترات عن طريق ممارسات استخدام الأراضي على مدار ثلاثين عاماً، من المحتمل أن تحتاج إلى عقود عديدة من أجل «تخفيف» النترات إلى تركيزات مقبولة، وذلك عندما يكون الماء الراشح منخفضاً في النترات، وقادماً من أراضٍ تتلقى ممارسات إدارة محسنة. وهذا يعنى أن تكلفة تخفيض التلوث بالنتروجين

لما هنا الطبيعية يجب أن يتحملها المجتمع لسنوات كثيرة، وأن الجهود المتكاملة مطلوبة بين جميع الأحزاب وعلى المدى الطويل.

وبالاختصار، عند هذه النقطة من الزمن يجب أن نعترف أن التلوث بالنيتروجين قضية بيئية هامة، وبصفة خاصة للمياه الجوفية، ويحتاج حلاً معقدة طويلة المدى، وسوف يعرض هذا الفصل المكونات الأساسية لدورة النيتروجين في الأراضي، والتي يجب إدارتها بحيث تقلل التلوث بالنيتروجين.

٤ - ٢ دورة النيتروجين في الأراضي :

تعتبر دورة النيتروجين في الأراضي (شكل ٤ - ٢) جزءاً من دورة النيتروجين العالمية، ويمكن النظر إليها على أنها ملخص للتفاعل بين التحولات الكيميائية، والفيزيائية، والبيولوجية التي تحدث للنيتروجين في الأراضي، وحيث إن هذا الفصل يركز على الاهتمامات البيئية المرتبطة بإدارة نيتروجين التربة، فإن تفاعلات دورة نيتروجين التربة مع أجزاء البيئة الحساسة للتلوث بالنيتروجين (المياه الجوفية، المياه السطحية، الغلاف الجوي) سوف يتم إيضاها. ومن هذا المنطلق، فإن تحولات النيتروجين الأساسية عبارة عن: تدوير النيتروجين بين صورته العضوية وغير العضوية (معدنة، تثبيت)، والفقد الغازي للنيتروجين (تطاير الأمونيا، عكس التآزت) إلى الهواء الجوي، والفقد المرتبط بحركة الماء (الغسيل، التعرية)، وتثبيت النيتروجين البيولوجي. وكثير من هذه التفاعلات يتم التحكم فيها بواسطة كائنات التربة التي تُغيّر الصورة، وحالات التأكسد، وبالتالي مصير النيتروجين بين: نيتروجين غازي (N_2)، أكسيد النيتروز (N_2O)، الأمونيا/ الأمونيوم (NH_4/NH_3)، النتريت (NO_2)، النترات (NO_3). ومن المهم أن نعرف - من وجهة نظر الإدارة - كيف تتغير الأهمية النسبية لهذه التفاعلات مع التربة والظروف البيئية ومتى نستطيع التحكم بدرجة كبيرة في تفاعل معين. ومع ذلك، سوف لا تعتمد قدرتنا على التحكم في تحولات النيتروجين على بيولوجيا، وكيمياء، وفيزياء العملية فقط، ولكنها تعتمد أيضاً على كثافة واقتصاديات

الإدارة ؛ فالمزارعون الذين يمارسون عملية الري، على سبيل المثال، يتحكمون بدرجة أكبر فى تحويلات النتروجين، على مدار زمن توزيع النتروجين إلى المحاصيل مقارنة بزملائهم القائمين بزراعة الأراضى الجافة، وذلك بسبب قدرتهم على حقن أسمدة النتروجين الذائب فى مياه الري. وهذا يُحسّن من كفاءة امتصاص النتروجين بواسطة المحاصيل، ويقلل من غسيل النتترات. وتستطيع الصناعات المتضمنة فى استصلاح الأراضى أو البلديات الموكول إليها التخلص من حمأة المجارى أن تزيد درجة تصنيع المخلف (مثل تصنيع السماد العضوى «كمبوست» تركيز الجير) استجابةً إلى تنظيم أكبر لاستخدام المخلفات العضوية وعلاقته بالباثوجينات، أو المعادن الثقيلة، أو الملوثات العضوية. وهذه التغيرات فى خواص المخلف يمكن أن تؤثر بدرجة كبيرة فى تحويلات النتروجين التى تحدث غالباً مع إضافة المخلف إلى الأراضى.

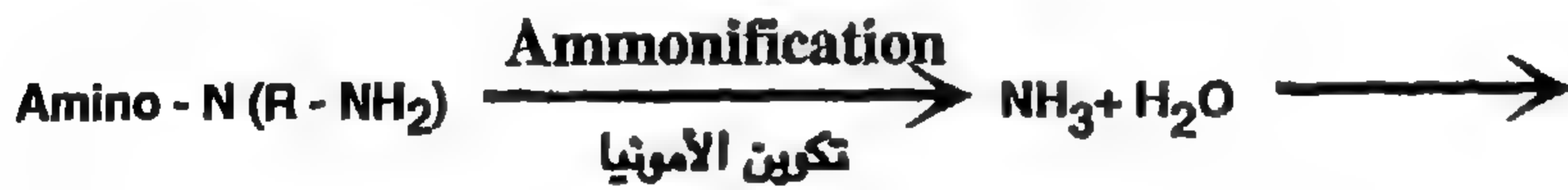
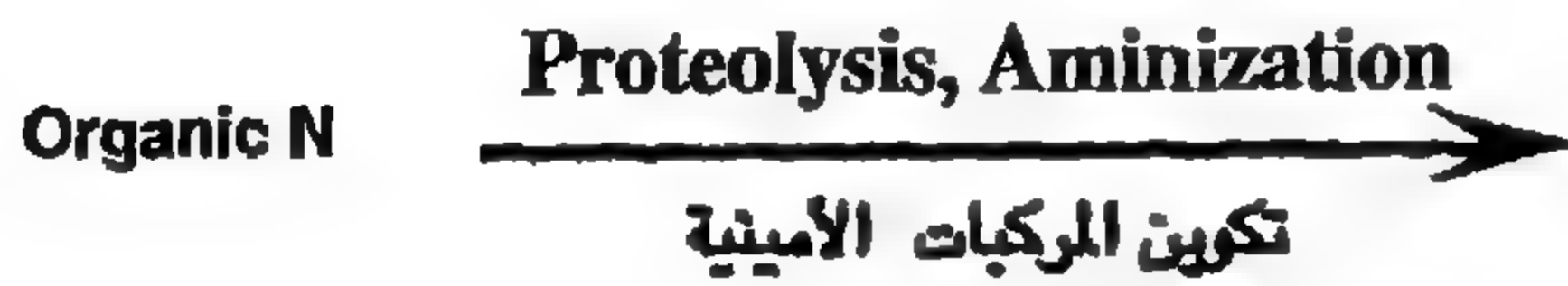
وتبدأ الإدارة البيئية السليمة للنتروجين بالفهم الجيد للمكونات الرئيسية لدورة النتروجين فى التربة. ولقد بذلت جهود علمية عديدة لدراسة تحويلات النتروجين فى الأراضى. والتحدى الذى يواجهنا فى الوقت الحالى هو أن نترجم هذا الكم من المعرفة إلى برامج إدارة عملية تحقق كلا من الأهداف الإنتاجية والبيئية. وفى الأقسام التالية سوف نشرح الأسس الرئيسية الخاصة بكل عملية من تحويلات النتروجين، وفى الأقسام التى بعدها سوف نربط التقنيات التى تستخدم لإدارة تحويلات النتروجين هذه بالقضايا الزراعية، والحضرية، واستصلاح الأراضى.

٤ - ٢ - ١ معدنة، وتأزت، وتثبيت النتروجين فى صورة عضوية :

المعدنة :

تشير المعدنة إلى تحول الصور العضوية للنتروجين (مثل: البروتين، الكيتين والسكريات الأمينية من جدران الخلايا الميكروبية، الأحماض النووية) إلى نتروجين غير عضوى مثل النتروجين الأمونيومى (NH_4^+). وقد يكون النتروجين العضوى طبيعياً فى

التربة أو مضافاً إليها حديثاً في هيئة مخلفات محاصيل، أو أسمدة حيوانية، أو مخلفات صرف صحي. ويتم عملية المعدنة في التربة بواسطة أعداد متنوعة من الكائنات الدقيقة غير المحبة للحرارة (البكتريا، الفطر، الأكتينومييسيتات، كما ذكر في الفصل الثاني)، التي تنتج مجموعة متنوعة واسعة من إنزيمات خارج الخلية قادرة على تحليل البروتينات (البروتونيز، الببتيديز) والمواد غير البروتينية (الكتينيز، الكينيز) إلى أيون أمونيوم. وتستخدم هذه الميكروبات الطاقة الناتجة من أكسدة المادة العضوية في التربة لغرض أنشطة البناء، وكذلك تستخدم النتروجين المنطلق خلال عملية التحلل، لتنتج أحماضاً أمينية وبروتينات ضرورية لتكاثرها، ويمكن تلخيص التفاعلات الداخلة في معدنة النتروجين العضوي إلى أمونيوم غير عضوي كما يلي:



وبمجرد حدوث عملية المعدنة، فإن أيون الأمونيوم يمتص بواسطة النبات، أو يحدث له نترتة (يتحول إلى نترات)، أو يثبت في صورة عضوية بواسطة الكائنات الدقيقة في التربة، أو يفقد في صورة غاز عن طريق تطاير الأمونيا، أو يُمسك في صورة أيون متبادل بواسطة الطين وغرويات التربة الأخرى، أو يثبت في الطبقات الداخلية لبعض معادن الطين. وسنناقش كل من الصور سالف الذكر في الأقسام التالية.

لقد ثبت أن معدنة النتروجين من المادة العضوية في التربة تُوفّر جزءاً كبيراً من احتياجات النتروجين لكثير من المحاصيل. ويمكن للنباتات أن تمتص أيون الأمونيوم مباشرة من المحلول الأرضي، وفي الواقع أوضحت دراسات كثيرة أن النباتات تفضل امتصاص أيون الأمونيوم عن المصادر الأخرى للنتروجين (مثل النترات)، ويسمى هذا بالامتصاص التفضيلي. وتتراوح قيم النتروجين الكلى في الآفاق العلوية لمعظم الأراضي المعدنية من ٥ ر إلى ١٥ ر٪. وتحت الظروف الجيدة التهوية، يتمعدن حوالي ١ - ٣٪ من هذا النتروجين العضوي سنوياً منتجا ١٥ - ٧٠ كجم نتروجين/ هكتار/ السنة، ويمكن مقارنته نسبياً مع توصيات النتروجين السمادية لكثير من المحاصيل السنوية وهي ٥٠ - ٢٠٠ كجم نتروجين/ هكتار. والاستخدام الطويل للأسمدة الحيوانية أو محاصيل الدورة البقولية مثل البرسيم الحجازي يزيد بدرجة كبيرة كمية النتروجين العضوي القابل للتمعدن في الأراضي. وكما ناقشنا في القسم ٤ - ٤ فإنه يمكن أن يؤدي هذا إلى انخفاض ملحوظ في احتياجات سماد النتروجين، وهذا اعتبار مهم سواءً من وجهة النظر الاقتصادية أو وجهة النظر البيئية. ويعتبر توقيت معدنة النتروجين بالنسبة إلى توقيت امتصاص النبات للنتروجين مهماً تماماً مثل كمية النتروجين المتمعدن. ولقد أوضحت معظم الدراسات أنه تحت الظروف المثلى، تتبع معدنة النتروجين نظام الخط المنحني، كما أوضحنا في شكل (٤ - ١٣). ويمكن وصف كمية النتروجين العضوي القابل للتمعدن في الأراضي (N_0)، ومعدل معدنة النتروجين (K) باستخدام معادلة كينيتيكية بسيطة من الدرجة الأولى، وهي تُحدّد علاقة التغير في النتروجين المتمعدن (N_m) في التربة بالزمن (dN_m/dt) مع كمية النتروجين العضوي القابل للتمعدن (N_0) كما يلي:

$$dN_m / dt = K (N_0) \quad (4 - 5)$$

ويمكن أن تستخدم النتائج المتحصل عليها من دراسات التحضين المعملية، والتي تقيس كمية الأمونيوم والنترات المفسولة أو المستخلصة من التربة عند فترات زمنية مختلفة (N_m, t)، مع الصورة التكاملية لهذه المعادلة - لتقدير قيم K, N_0 لأنواع

مختلفة من الأراضى، أو تستخدم كدالة لآفاق قطاع التربة، أو لتغيير ظروف التربة الكيميائية والبيئية (رقم الحموضة، درجة الحرارة، الرطوبة)؛ أو كدالة لتأثيرها بالتغيرات طويلة المدى فى نتروجين التربة الناتجة عن عمليات الحرث المختلفة، أو الأسمدة المعدنية، أو المخلفات العضوية. وحسابيا، إذا كانت N_0 , K معروفة، فإن كمية النتروجين المعدنى فى التربة بعد فترة زمنية محددة يمكن التنبؤ بها كمايلي:

$$N_m = N_0 (1 - e^{-kt}) \quad (4-6)$$

ولقد أوضحت بعض الأبحاث أن النموذج المعتمد على نوعين من مصادر النتروجين N_0 (N_s , N_r) حيث :

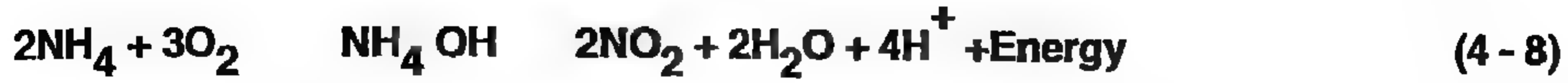
N_r = النتروجين العضوى القابل للتحلل بسرعة،

N_s = النتروجين العضوى القابل للتحلل ببطء ، - يمكنه أن يصف نتائج دراسات معدنة النتروجين بطريقة أفضل، وخاصة فى الأراضى المعالجة بالمخلفات العضوية (شكل ٤ - ٣ ب).

$$N_m = N_r (1 - e^{-ht}) + N_s (1 - e^{-kt}) \quad (4-7)$$

النترة أو التآزت:

وهى تحول أيون الأمونيوم إلى نترات (NO_2^-) ويعدُّذ إلى نترات (NO_3^-) بفعل بكتريا ذاتية التغذية محلة للمواد الكيماوية، وهى بكتريا هوائية حتماً؛ أى تحصل هذه البكتريا على الكربون من ثانى أكسيد الكربون أو الكربونات، وعلى الطاقة من أكسدة الأمونيوم أو النترت. وبصفة أولية، فإن بكتريا النتروزوموناس، أو النتروزيبيرا، أو النتروزوكوكس تؤكسد الأمونيوم إلى هيدروكسيل أمين (NH_2OH)؛ وبعد ذلك ومن خلال عدة مركبات وسطية عديدة غير معروفة جيداً، تتحول إلى نترات. وهناك علامتان دالتان لهذه الخطوة وهما: التغير فى حالة أكسدة النتروجين من (-٣) إلى (+٣)، وتحميض التربة بواسطة أيونات الهيدروجين التى تنتج عندما يتأكسد أيون الأمونيوم، طبقاً للتفاعل التالى:



وفى التفاعل القادم تقوم بكتريا النتروباكتريا أو النتروزيبيرا، أو النتروكوكس بالاستمرار فى عملية الأكسدة، وتحول النتريت إلى نترات وتتغير حالة تأكسد النتروجين من (٢+) إلى (٥+)، كما يلي:



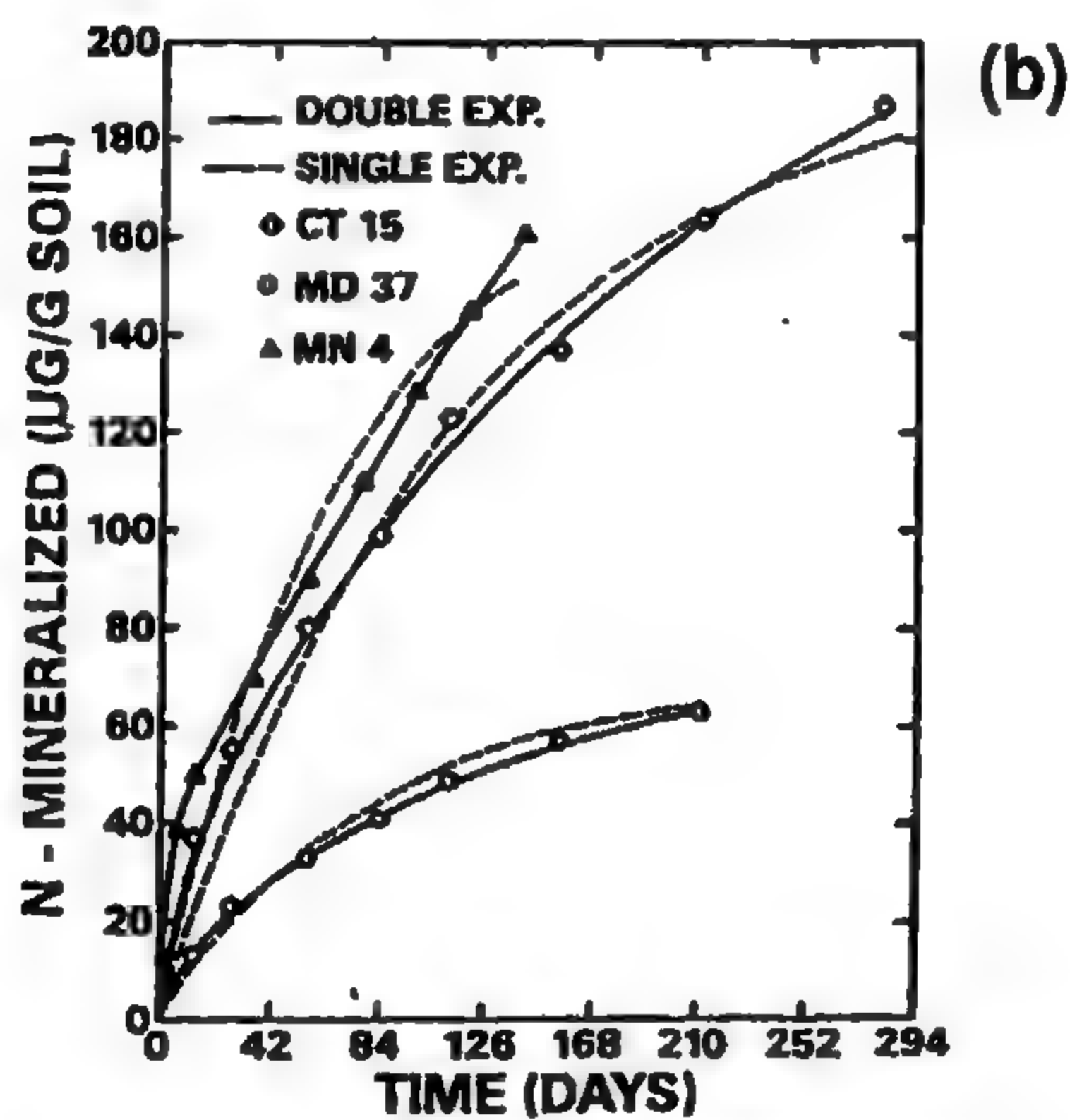
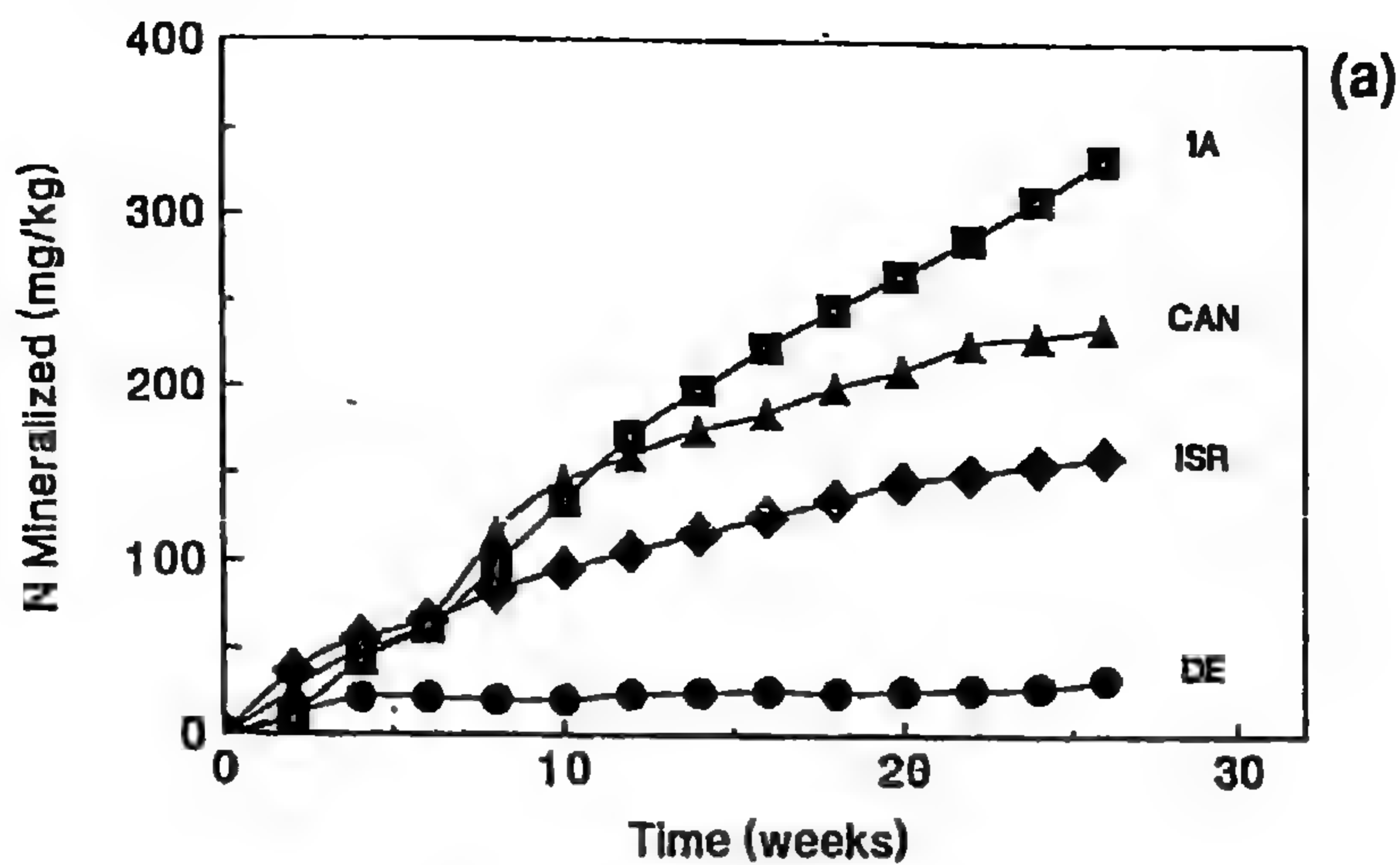
وتستخدم النترات بعدئذ مباشرة بواسطة النباتات أو الكائنات الدقيقة فى التربة، أو تفقد من منطقة الجذور عن طريق عمليات عكس التأزت، أو الغسيل، أو الانجراف مع ماء المطر السارى (القسم ٤ - ٢ - ٢ والقسم ٤ - ٢ - ٣). وفى معظم الأراضى، فإن عملية النترة سريعة، وحركة النترات أكبر بكثير جدا من حركة الأمونيوم. ولقد أنتجت مثبطات كيميائية لعملية النترة بهدف تأخير عملية التحول، ولقد أثبتت فعاليتها فى دراسات معملية عديدة، ولكن حتى الآن، فالأبحاث الحقلية على فعالية واقتصادية مثبطات النترة بالنسبة للأسمدة والمخلفات العضوية لم تعط نتائج حاسمة. ويوضح قسم ٤ - ٤ - ٢ خواص واستخدام بعض مثبطات النترة.

التثبيت فى صورة عضوية :

وهو عكس المعدنة ويشمل تمثيل النتروجين غير العضوى (NH_3 , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) بواسطة الكائنات الدقيقة فى التربة، وتحول هذه الصور المعدنية للنتروجين إلى مركبات عضوية خلال عمليات بناء ونمو الميكروبات. ويمكن النظر أيضا إلى امتصاص النبات على أنه صورة من صور التثبيت هذه، ويجب أن يفهم أن التحكم فى المنافسة بين النباتات والكائنات الدقيقة فى التربة للحصول على النتروجين غير العضوى فى التربة يعتبر بنداً مهماً من إدارة نتروجين التربة، وحيث إن عملية التثبيت هذه تمثل تكوين مركبات عضوية نتروجينية، فإنها سوف تتأثر كثيراً بدرجة تيسر الكربون اللازم لإنتاج الأحماض الأمينية والبروتينات. وفى حالة تواجد

كمية كافية من الكربون الميسر في التربة، مقارنة بالنتروجين غير العضوي، ينشط النمو الميكروبي وكذلك استهلاك النتروجين الذائب، وهذا يشجع تحول النتروجين الذائب إلى نتروجين حيوي، وتوجد أكثر من نسبة مناسبة من الكربون الميسر إلى النتروجين الميسر تؤدي إلى زيادة من أيون الأمونيوم أو النترات في التربة عن الاحتياجات الميكروبية. وإن نسبة الكربون: النتروجين (C/N) للمادة العضوية الأصلية أو المضافة، جنباً إلى جنب مع الظروف البيئية التي تنظم النمو الميكروبي، تتحكم في كمية النتروجين غير العضوي الميسر لامتناس النبات أو المطلوب لأغراض أخرى (كالغسيل، عكس التأزت)؛ فالمادة العضوية الثابتة في التربة لها نسبة (كربون : نتروجين) تتراوح من ١٠ : ١ إلى ١٢ : ١، في حين أن كائنات التربة تتراوح النسبة فيها من ٥ : ١ إلى ٨ : ١. وينتج عن معدنة المادة العضوية في التربة كميات كافية من الكربون والنتروجين اللازمة للكائنات الدقيقة في التربة، وكما قلنا سابقاً، توفر أيضاً كميات قليلة إلى متوسطة من النتروجين الميسر لامتناس النبات.

وتؤدي إضافة مُحسنات عضوية، لها نسب C/N مختلفة، للأراضي إلى حدوث تغيرات معنوية في كمية النتروجين غير العضوي في التربة الميسر للنبات، يمكن التنبؤ بها بدرجة معقولة، كما أوضحت ذلك نتائج ثمان دراسات عن معدنة النتروجين من بقايا المحاصيل لها نسب N : C تتراوح من ٨ : ١ إلى ٨٠ : ١ (شكل ٤ - ١٤) وتستخدم في الغالب نسبة N:C ذات القيمة ٢٥ : ١ (المادة العضوية حوالي ٤٠٪ C، ١٦٪ N) على أنها النسبة التي عندها تتعادل عمليتي المعدنة والتثبيت في صورة عضوية. وتؤدي إضافة مواد لها نسب N : C واسعة (أكبر من ٣٠ : ١) (مثل: القش، نشارة الخشب، السماد العضوي الذي أصله حمأة المجاري) إلى حدوث زيادة سريعة في نمو الميكروبات واستنفاد النتروجين الميسر في التربة إلى النقطة التي يحدث عندها نقص في النتروجين في نباتات كثيرة. وعلى العكس من ذلك، فبعض المحسنات العضوية (مثل حمأة المجاري، وسماد الدواجن)، وهي لها نسب N : C منخفضة، وتنتج كميات كبيرة وزائدة من النتروجين الذائب، وهذه ينبغي أن تتم إدارتها بعناية وحرص



شكل ٤ - ٣ (a) نماذج معدنة النتروجين في أراضي مختلفة.
 (b) مقارنة النماذج الأحادية والمتعددة للظروف التي تشجع معدنة النتروجين في تربة محسنة بالحماة.

a) Ellert and Bettany, 1988 (Canada), Hadas et al., 1983 (Israel), Sallade and Sims, 1992 (Delaware), Chae and Tabatabai, 1986 (Iowa).

b) Deans et al., 1986.

شديد، وذلك لتلافى فقد النتروجين وتسريه إلى مناطق حساسة من البيئة. ويعتبر تصنيع السماد العضوى وسيلة فعالة لثبات النتروجين فى المخلفات العضوية سريعة القابلية للمعدنة، كما هو موضح فى شكل ٤ - ٤ب. ولذلك، فالأمر يتطلب حرصاً شديداً فى تغذية النبات بالنتروجين وبالأخص عند استخدام الأسمدة العضوية الصناعية، ومع ذلك، تُظهر، فى الغالب، الأراضى المحسنة بالأسمدة العضوية الصناعية فترة أولية لتثبيت النتروجين فى صورة عضوية، وبعدها يحدث انطلاق للنتروجين ببطء أكثر من المعدل اللازم للكثير من النباتات الحولية. ولا تظل نسبة $N : C$ للمادة العضوية المضافة ثابتة خلال عملية التحلل، حيث أن الكربون الناتج من التنفس الميكروبي يتطاير من التربة فى صورة ثانى أكسيد كربون. ومع الوقت، وبناء على ذلك، تنخفض نسبة $N : C$ إلى المستوى الذى تسود فيه عملية المعدنة، ويتوافر بالتربة نتروجين ميسر لامتناس النبات مرة أخرى.

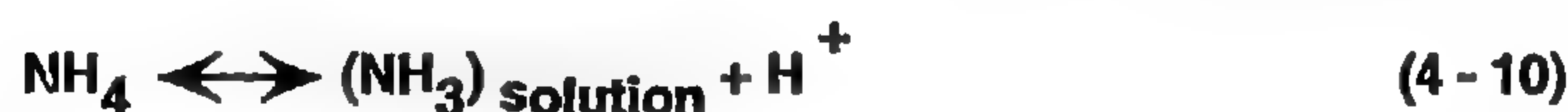
وبالأخذ فى الاعتبار أهمية الكائنات الدقيقة فى التربة فى تفاعلات المعدنة، والنترة، والتثبيت فى الصورة العضوية، يتضح أن الإدارة السليمة لنتروجين التربة - وخاصة من المصادر العضوية (بقايا المحاصيل، الأسمدة الحيوانية، الحماة) - تتطلب فهم التربة، وكذلك فهم العوامل البيئية التى يمكن أن تؤثر فى نشاط الكائنات الدقيقة وتتحكم فى هذه التفاعلات. ولقد اتضح أن جميع العوامل التى تؤثر فى النشاط البيولوجى (درجة الحرارة، الرطوبة، التهوية، رقم الحموضة) تؤثر أيضاً فى معدل ودرجة هذه التحولات الثلاثة للنتروجين، ولقد تم تحديد الظروف المثلى لكل تحول، وهى تختلف بدرجة بسيطة فيما بين تفاعلات المعدنة - التثبيت فى صورة عضوية وتفاعلات النترة. وبسبب مشاركة أصناف كثيرة من الكائنات فى تحولات المعدنة والتثبيت فى الصورة العضوية، فإن هذه العمليات أقل حساسية نوعاً ما لتغير الظروف البيئية مقارنة بعملية النترة. وعلى سبيل المثال، وعلى عكس عملية النترة، تكون عملية المعدنة سريعة تحت الظروف اللاهوائية وعند مدى واسع من درجات الحرارة. وهذا يمكن أن يؤدى إلى تجمع أو تراكم لأيون الأمونيوم فى الأراضى المغمورة حيث تتوقف عملية النترة بسبب النقص فى الأكسجين، أو تحت نظم أراضى ذات درجات حرارة متطرفة (أقل من ٥°م ، وأعلى من ٤٠°م). وبالنسبة للمعدنة والتثبيت فى الصورة العضوية،

فقد أوضحت الدراسات أن الظروف المثلى تتحقق عند درجة حرارة من ٤٠ - ٦٠ م، ولها Q_{10} (التغير في معدل التفاعل عندما تزداد درجة الحرارة ١٠ م) حوالى ٢٠، ومحتوى الرطوبة في التربة من ٥٠ - ٧٥٪ من سعة حفظ التربة للماء، بالرغم من أن النسبة المثلى الفعلية للرطوبة تختلف حسب قوام التربة (جدول ٤ - ٢). وفيما يخص النترة، فإن ظروفها المثلى هي: درجة حرارة من ٣٠ - ٢٥ م، ونسبة رطوبة من ٥٠ - ٦٧٪ من سعة حفظ التربة للماء، ورقم حموضة pH بين ٦.٦ - ٨.٠. والبكتريا التي تقوم بعملية النترة حساسة لحموضة التربة الزائدة، كما يقل نشاطها بوضوح عندما يكون رقم حموضة التربة أقل من ٥.٠. ولقد لوحظ إنتاج النترات في أراضي المناجم عالية الحموضة، وفي أراضي الغابات، ومن هذا نستنتج أن بعض ميكروبات النترة قد تأقلمت مع الظروف غير الملائمة من رقم الحموضة pH.

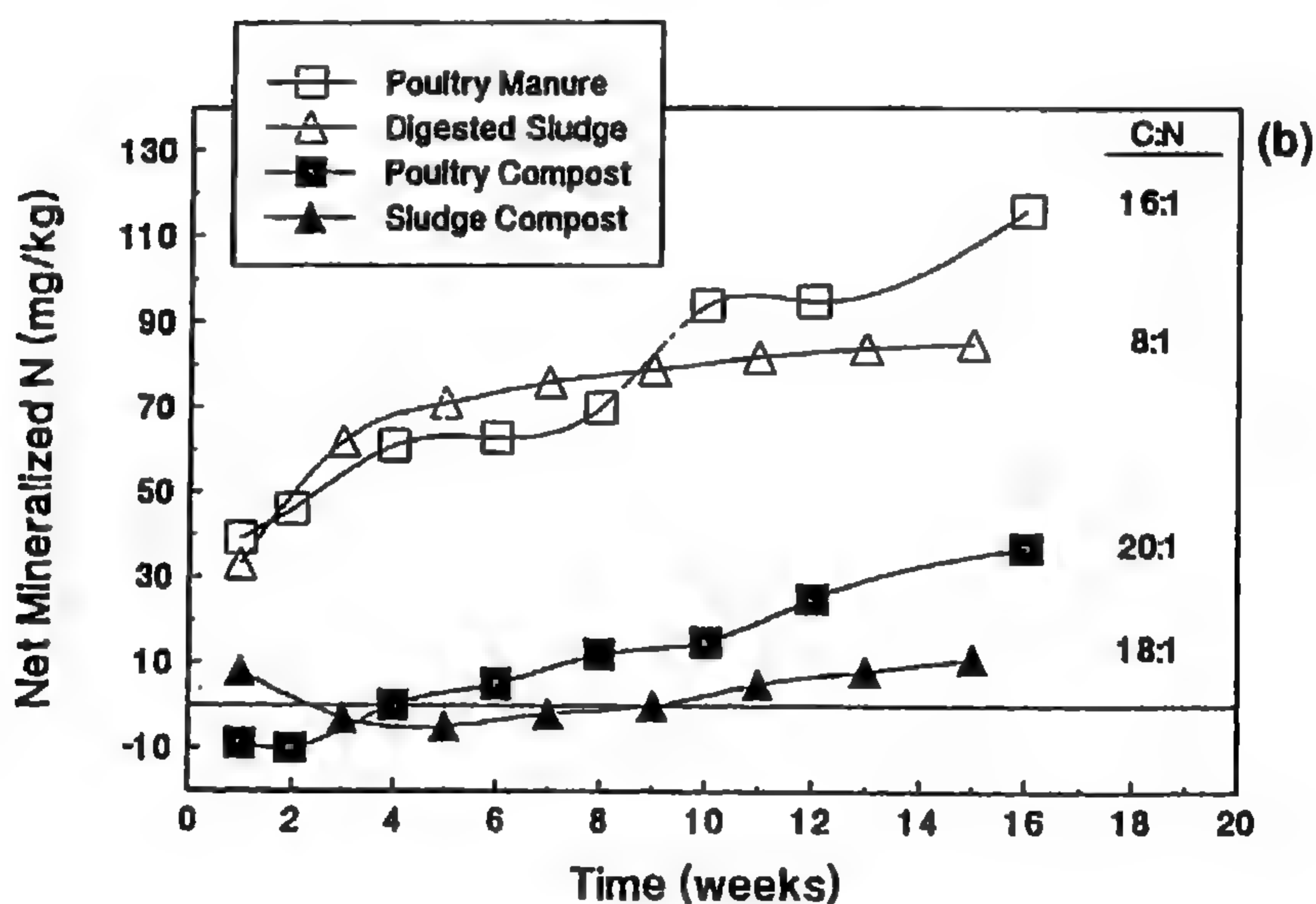
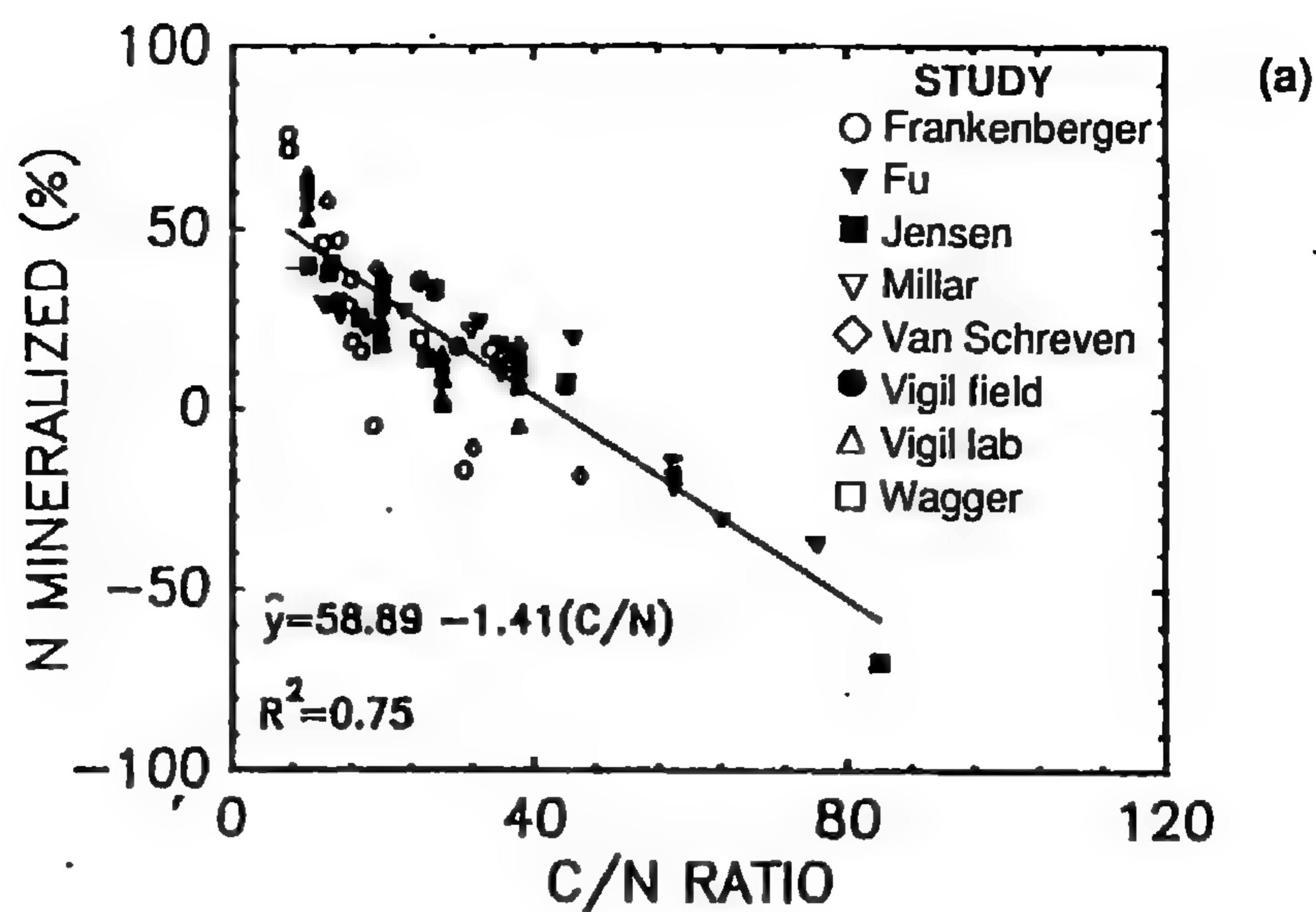
٤ - ٢ - ٢ الفقد الغازي للنيتروجين: تطاير الأمونيا وعكس التآزت:

تطاير الأمونيا:

تشير إلى فقد الأمونيا NH_3 من التربة في صورة غاز، وعادة يرتبط ذلك بالتركيزات العالية للأمونيا الحرة في محلول التربة ورقم حموضة التربة العالي. وتؤدي الإضافات السطحية للأسمدة الأمونيومية أو المخلفات العضوية سهلة التحلل (مثل: الأسمدة الحيوانية، الحمأة) للأراضي إلى فقد معقول للنيتروجين عن طريق تطاير الأمونيا، وبخاصة إذا كانت التربة (أو المخلف العضوي) قاعدية في طبيعتها. ويمكن تلخيص هذا التفاعل والعوامل الكبيرة المؤثرة في قيمة ومعدل $(d[NH_3]/dt)$ فقد النيتروجين عن طريق التطاير كما يلي:



$$\frac{d[NH_3]}{dt} = [A] \times [K] \times [P_1 - P_g] \quad (4-12)$$



شكل ٤ - ٤ (أ) تأثير نسبة الكربون: النتروجين في بقايا النباتات على معدنة النتروجين.
 (ب) تأثير السماد العضوي المصنع من حمأة المجارى المنشطة أو من مخلفات الدواجن على معدنة النتروجين.

a) (Vigil and Kissel, 1991.)

b) (Epstein et al., 1978 and Sims et al., 1992.)

جدول ٤ - ٢ تأثير درجة حرارة التربة ونسبة الرطوبة فيها على معدنة النتروجين.

ثابت معدل معدنة النتروجين / أسبوع ؛ K		درجة حرارة التربة ٥م
المتوسط	المدى (١١ تربة)	
٠.٠٠٩	٠.٠٠٧ — ٠.١٥	٥
٠.٠١٤	٠.٠٢٢ — ٠.١٠	١٥
٠.٠٢٩	٠.٠٤٧ — ٠.١٩	٢٥
٠.٠٥٥	٠.٠٧١ — ٠.٤٤	٣٥
النتروجين الكلى المتمعدن عند ٣٥ ٥م مجم / كجم		الشدة الرطوبى فى التربة (Mpa)
طمي إلى طمي طينى	طمي رملى ناعم	
٧١	٣٩	٠.١
٦٧	٣٦	٠.٣
٥٠	٢٩	٠.٢٠
٤٣	٢٦	١.٥٠
٢٨	١٣	رطوبة التربة المثلّى مقدرة (%)

Stanford et al., 1973.

Stanford and Epstein, 1974.

بالنسبة للحرارة :

بالنسبة للرطوبة :

حيث :

$$d[NH_3] / t = \text{فقد الأمونيا عند زمن } t.$$

$$A = \text{مساحة السطح البيئي للتربة والمحلول.}$$

$$K = \text{معامل التحول الكتلي، دالة لسرعة الهواء فوق التربة ودرجة حرارة كل من الهواء والتربة.}$$

$$P_1 = \text{الضغط الجزئي للأمونيا في المحلول الأرضي.}$$

$$P_g = \text{الضغط الجزئي للأمونيا في الهواء فوق المحلول الأرضي.}$$

يمثل التطاير كلا من فقد العنصر الغذائي للنبات والتأثير البيئي الضار للنتروجين، حيث أوضحت الدراسات أن المناطق القريبة من المياه السطحية يمكن أن تكون غنية بالأمونيا المتطايرة من مساحات تتركز بها مخلفات عضوية (مثل: مزارع الإنتاج الحيواني، أحواض تجميع الأسمدة الحيوانية). وكما ذكرنا سابقاً فإن العوامل الأساسية في تطاير الأمونيا من الأراضي هي تلك العوامل التي تؤثر في:

(١) تحول الغاز بين المحلول الأرضي والهواء الجوي (مساحة السطح البيئي للمحلول - والهواء الجوي، سرعة الهواء على سطح التربة).

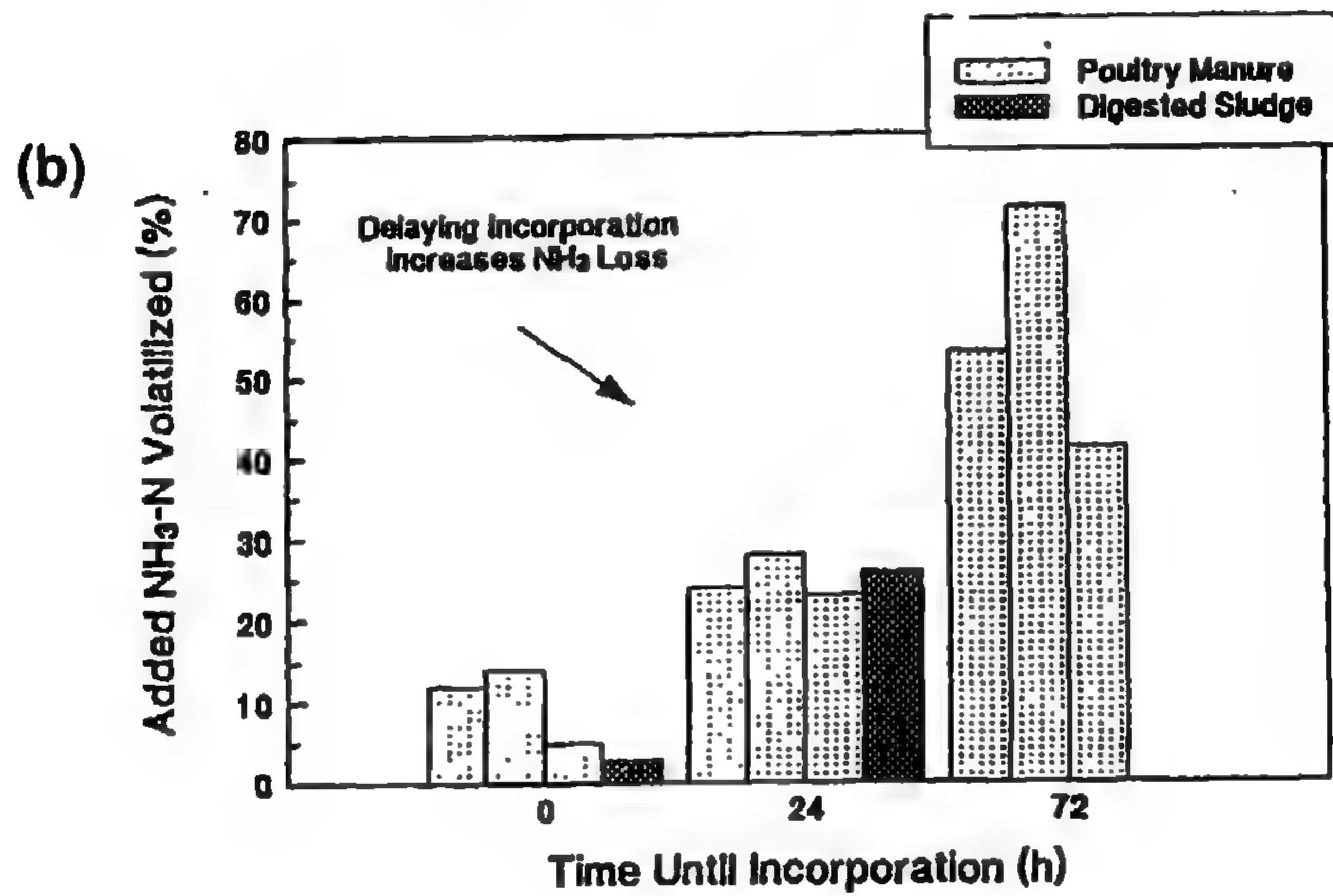
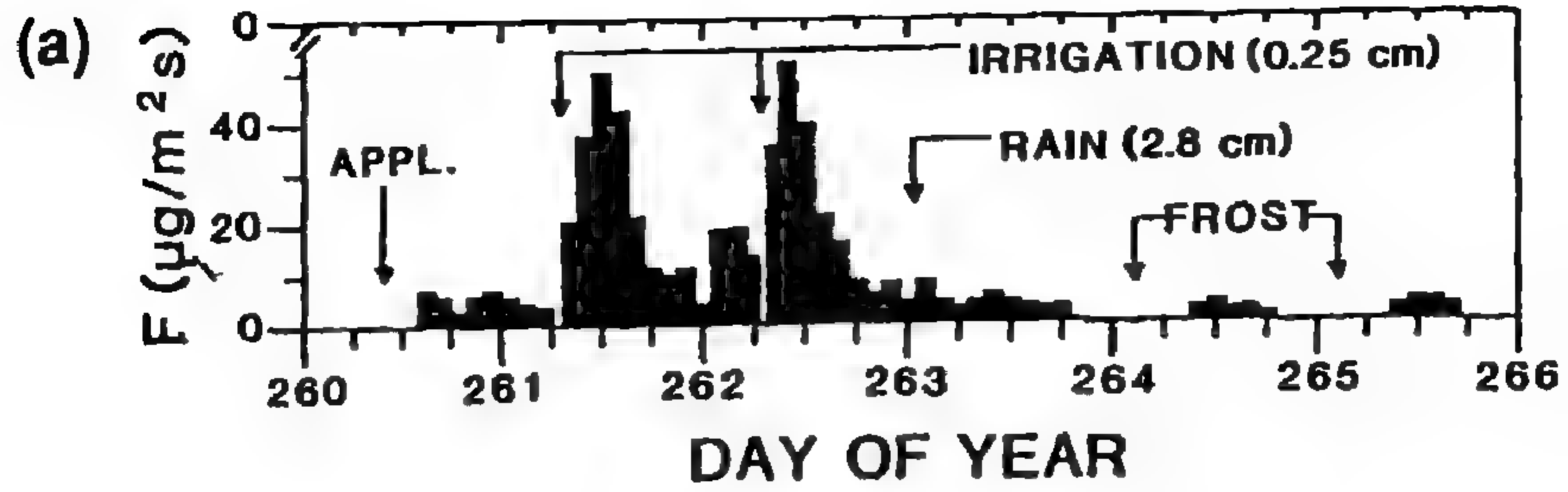
(٢) المعدل العام للتفاعل الكيميائي (درجة الحرارة، الضغط الجزئي للأمونيا في كل من الطورين). وتشمل عوامل التربة والإدارة التي تتحكم في شق تطاير الأمونيا: درجة حرارة التربة ونسبة الرطوبة بها وقوامها؛ طبيعة مصدر النتروجين، طرق إضافة الأسمدة أو المخلفات العضوية (مثل النثر على السطح، الحقن، الدمج مع التربة). وتشمل الظروف المصاحبة لأعظم فقد لتطاير الأمونيا: إضافات الأسمدة أو المخلفات العضوية على السطح، رقم الحموضة العالي أو الأراضي الجيرية، الأراضي التي لها سعة تبادلية كاتيونية منخفضة حيث تكون قدرتها ضئيلة على ادمصاص وتثبيت كاتيون الأمونيوم، البيئة الدافئة ذات الرطوبة الخفيفة. وبصفة عامة، فإن أكفاً طريقة لتقليل فقد الأمونيا بالتطاير هي دمج مصدر النتروجين في

التربة بواسطة الحرث، أو الحقن، أو الري - خلال وقت الإضافة أو أثناء وقت سقوط المطر الطبيعي (كما هو موضح في شكل ٤ - ٥ وجدول ٤ - ٣). وبمجرد دمج مصدر النتروجين مع التربة يحدث جذب إلكتروستاتيكي لأيون الأمونيوم إلى مواقع التبادل الكاتيونية على معادن الطين والمادة العضوية، وهذا بالتالي يقلل فقد الأمونيا. ويمثل التطاير مشكلة خاصة بالنسبة للمراعى، ومناطق الأعشاب، ومناطق الزراعة بدون حرث؛ حيث تُعدّ الإضافات السطحية للأسمدة المعدنية والمواد العضوية ضرورية.

وتمثل أسمدة اليوريا $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ وحمض اليوريك الموجود في الأسمدة الحيوانية والمخلفات العضوية الأخرى حالة خاصة لتطاير الأمونيا. فعندما تضاف اليوريا إلى التربة يحدث لها تحلل عن طريق تفاعل يتم إسرعه بواسطة إنزيم اليوريز (يوريا أميدو هيدرولايز)، كما هو موضح:



وينتج أنزيم اليوريز بواسطة الكائنات الدقيقة في التربة التي تشترك في تحلل المادة العضوية في التربة، وبقايا المحاصيل، والمواد العضوية الأخرى. ويقوم أنزيم اليوريز بالتحلل المائي السريع لروابط $\text{C}-\text{NH}_2$ الموجودة في جزئ اليوريا، ويؤدي التكوين السريع لمحلول عالي التركيز من أيونات الأمونيوم في البيئة المصغرة المحيطة والمجاورة لحبيبات اليوريا إلى زيادة رقم الحموضة إلى حوالي ٥ و ٨، وهذا يشجع بدرجة كبيرة تطاير الأمونيا. ولقد تم إنتاج وتطوير مثبطات كيميائية لإنزيم اليوريز، وذلك لتقليل معدل التحلل المائي لليوريا، ويقل، كنتيجة لذلك، الخطر الناتج من فقد النتروجين عن طريق تطاير الأمونيا.



شكل ٤ - ٥ (أ) تطاير الأمونيا من اليوريا المضافة إلى سطح تربة عارية رطبة. يؤدي المعدل المنخفض للرى (٢٥ سم) إلى ثوبان اليوريا، ومن ثم يبدأ فقد الأمونيا (F). ويؤدي سقوط المطر بمعدل ٢٨ سم إلى غسيل الأمونيا في الأرضى، كما يتناقص بوضوح معدل التطاير.

(McInnes et al., 1986.)

(ب) تأثير الزمن بين إضافة سماد النواجن وحماة المجارى المفضومة على فقد الأمونيا من الأرضى.

(Donovan and Logan, 1983; Gartley and Sims, 1993.).

جدول ٤ - ٣ تأثير طرق الإضافة والأمطار على محصول القمح؛ حيث استخدمت أسمدة الأمونيا المتطايرة (يوريا - أمونيوم - نترات ، اليوريا).

المتوسط	معدل الإضافة كجم N / هكتار			طريقة الإضافة	مصدر النتروجين
	٢٧٠	١٨٠	٩٠		
٦٥ ٨١ ٨٥	المحصول ميجاجم/هكتار			نثراً بالرش في خطوط سطحية الدمج في خطوط	UAN
	٧٢	٦٨	٦٥		
	٨٧	٨٣	٧٤		
	٨٧	٨٨	٧٩		
المتوسط	معدل إضافة النتروجين كجم / هكتار			الأمطار الساقطة	مصدر النتروجين
	٢٠٢	١٠١	٥٠		
١١٠	١١٦	١١٣	١٠١	٢٥ مم في خلال ٣٦ ساعة إضافة. لا شيء لمدة ٣ أيام بعدئذ ٣ مم.	نترات أمونيوم يوريا نترات أمونيوم يوريا
١١١	١١٢	١١٧	١٠٤		
١٠٢	١١١	١٠٧	٨٨		
٩٤	١٠٤	٩٢	٨٥		

لاحظ أنه في دراسة تأثير المطر تمثل نترات الأمونيوم مصدراً ثابتاً للنتروجين، واحتمال التطاير لها ضئيلة.

(Touchton and Hargrove, 1982; Fax and Hoffman, 1981.)

عكس التأزت:

تعرف بأنها اختزال النترات NO_3^- إلى صور غازية للنتروجين (NO , N_2O , N_2) بواسطة بكتريا ذاتية التغذية محللة للمواد الكيماوية، كما يلي:



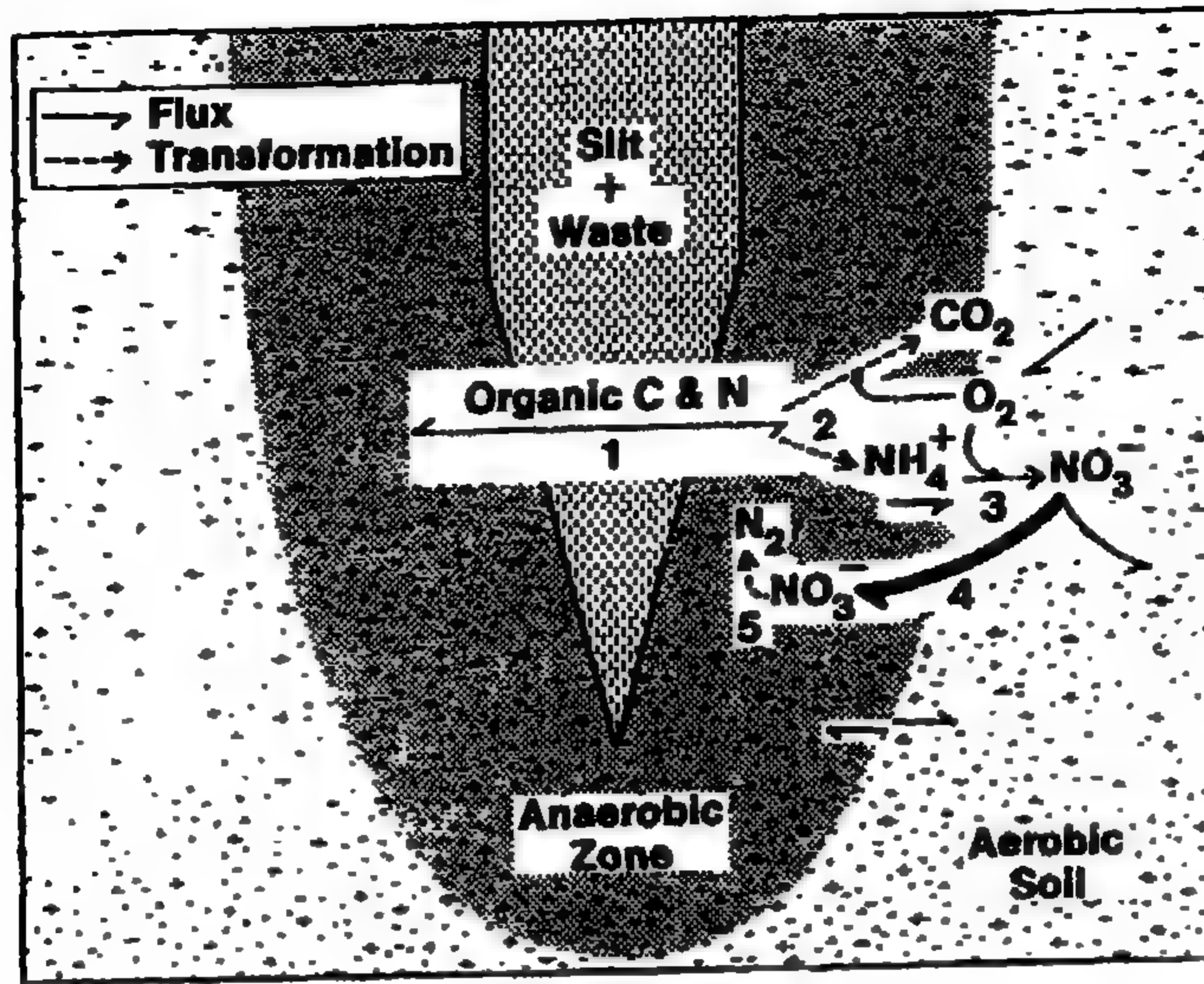
nitrate	nitrite	nitric	nitrous	dinitrogen
		oxide	oxide	

والبكتريا المسؤولة عن عملية عكس التأزت عادة هوائية، ولكن تحت الظروف اللاهوائية يمكن أن تستخدم النترات كبديل للأكسجين كمستقبل للإلكترونات الناتجة أثناء عملية تحليل المادة العضوية. وعن طريق عملية عكس التأزت، يختزل النتروجين من حالة التأكسد (+5) في NO_3^- إلى (صفر) في N_2 . وتعتبر العوامل الحرجة المنظمة لمعدل عملية عكس التأزت ودوامها في الأراضي هي درجة تيسر النترات (المادة الخاضعة لفعل البكتريا) والكربون (مصدر الطاقة والإلكترونات) وغياب الأكسجين، ولكي تحدث عملية عكس النترة، فإن التربة يجب أن تُنتج أولا أو تُحسن بالنترات، وبعدئذ تدخل مرحلة اللاهوائية. وعلى العكس تماماً، فيمكن تثبيط عملية عكس النترة بواسطة أى عملية توقف إنتاج النترات (أى تبطئ عملية النترة)، أو تشجع إزالة النترات (كالغسيل، امتصاص النبات)، أو تشجع الظروف الهوائية (مثل : الصرف الصناعي، استنفاد رطوبة التربة بواسطة النبات).

ونظرا لأن النترات فى الأصل تنتج عن طريق عملية النترة، وهى عملية هوائية، فإن الظروف الأكثر ملاءمة (المساعدة) لحدوث عملية عكس النترة هى تلك التى تشمل: دورات هوائية وغير هوائية متعاقبة، أو مناطق هوائية وغير هوائية متلاصقة. وتقوم الأراضي التى تغمر بصفة دورية أو التى فيها ظروف لا هوائية مؤقتة بسبب الأمطار

الغزيرة، بتجميع كمية كبيرة من النترات خلال الفترة الهوائية، وهذه تفقد عن طريق عملية عكس النترة خلال دورة الظروف اللاهوائية التالية. وينتج عن الاستهلاك السريع للأكسجين بواسطة الكائنات الدقيقة في التربة خلال عملية تحلل المادة العضوية؛ مناطق لا هوائية ملاصقة لمساحات هوائية تُنتج فيها النترات. وعندما تتحرك النترات في المنطقة اللاهوائية عن طريق الانتشار أو الانسياب الكلى، يحدث لها عملية عكس النترة، كما هو موضح في شكل ٤ - ٦ لترية استقبلت مخلفات صيدلية وحقنت (أى دفنت) في شقوقها. ومن الأمثلة الشائعة لهذه المناطق اللاهوائية: المواقع الصغيرة في الريزوسفير والغنية بإفرازات الجذور، والرواسب المحلية لبقايا المحاصيل القابلة للتحلل بدرجة كبيرة، والمخلفات العضوية المحقونة (أى المدفونة) في أحجام صغيرة نسبياً من التربة. وتشمل الأمثلة البيئية للأراضي اللاهوائية أيضاً: منطقة الأرض المبتلة الملاصقة لحقل زراعى، أو ربما المنطقة المبتلة صناعياً المستخدمة لمعالجة مياه المجارى (شكل ٤ - ٧). وفي هذه الحالة، فإن كمية كبيرة من النترات الناتجة في أرض الحقل الهوائى تتحرك بالغسيل أو الانسياب الجانبي في النظام البيئى للأرض المبتلة التى تسود فيها أراضي مغمورة، وظروف هوائية، وكميات كبيرة من الكربون الميسر، ثم تُزال النترات بعدئذ من مياه الصرف بواسطة عملية عكس النترة.

وتؤثر أيضاً درجة حرارة التربة، ورقم الحموضة في عملية عكس النترة. وبالرغم من إمكانية حدوث عملية عكس النترة عند درجات حرارة بين ٢، ٧٥°م، فإن درجة الحرارة المثلى هي ٣٠°م. وتتأثر درجة حرارة التربة في معدل البناء الميكروبي، وأيضاً في العمليات الكيميائية مثل معدل انتشار الأكسجين، والنترات، وأكسيد النتروز، والنتروجين في ماء التربة والهواء الجوى. على أن أنسب رقم حموضة لعملية عكس النترة يتراوح من ٠.٦ إلى ٠.٨، ولكن كما هو الحال مع عملية النترة، فإن عملية عكس النترة قد تم قياسها أيضاً في أراضي عالية الحموضة.

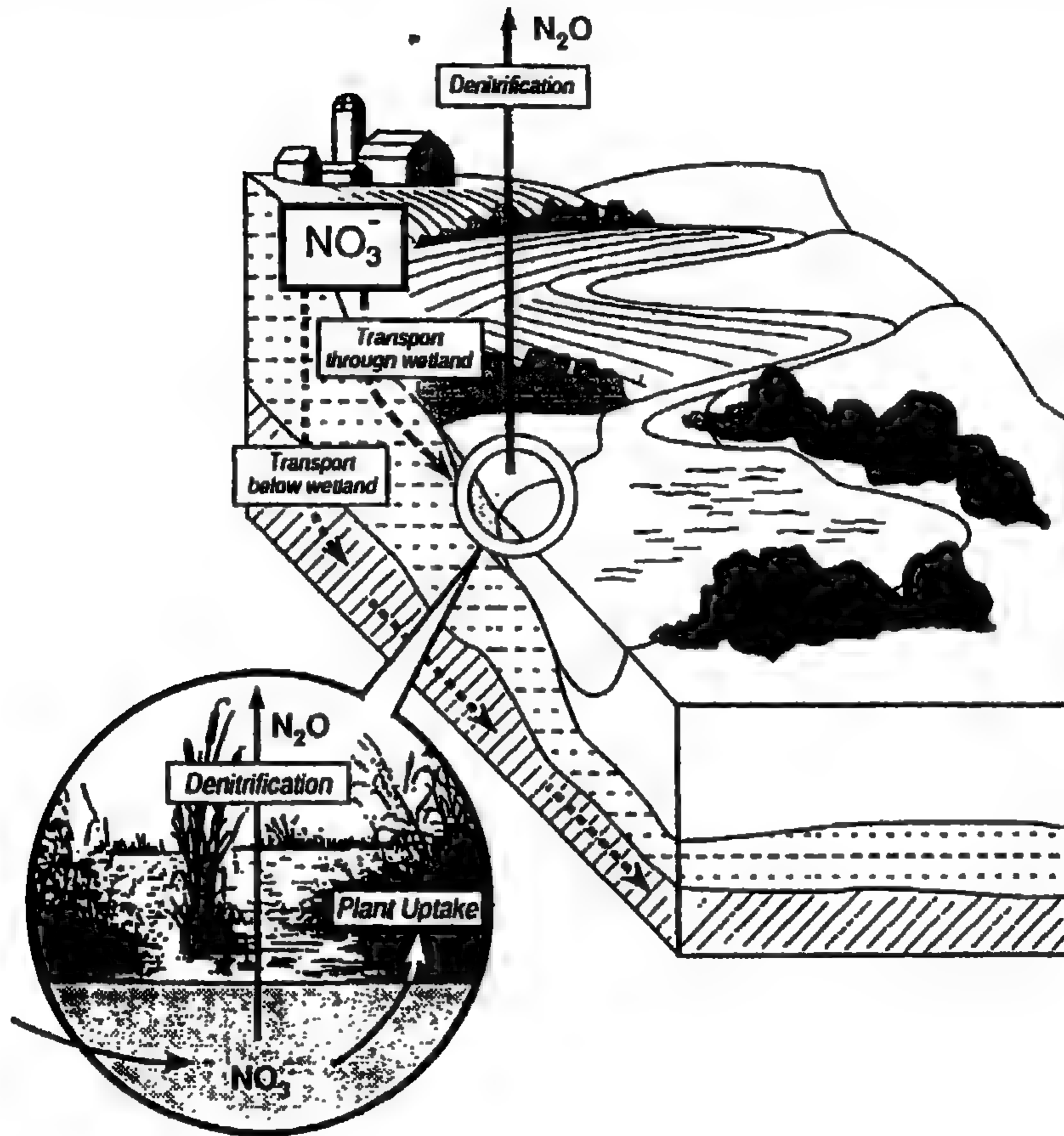


شكل ٤ - ٦ عملية عكس التآزت الناتجة عن حقن مخلفات صيدلية قابلة للتحلل بدرجة عالية. وإن وجود كربون ميسر بوفرة ينشط استهلاك الأكسجين، مما يؤدي إلى تكوين منطقة لاهوائية ملاصقة للمنطقة الهوائية حيث تحدث عملية التآزت النتروجين المتمعدن من المخلف. (Rice et al. 1988.)

٤ - ٢ - ٣ فقد النتروجين بالغسيل والإزالة :

يمكن أن ينتقل النتروجين من الأراضي إلى المياه الجوفية والمياه السطحية عن طريق الغسيل، أو الإزالة بالرياح أو مع ماء المطر (أو الثلج الذائب) الساري فوق سطح الأرض. ويحدث فقد النتروجين بالغسيل، أساساً، في صورة نترات وذلك بسبب انخفاض سعة معظم الأراضي للاحتفاظ بالأيونات. وبصفة عامة، فإن أي حركة لأسفل للماء في القطاع الأرضي تسبب غسيل النترات، ويتناسب مقدار فقد النتروجين طردياً مع تركيز النترات في المحلول الأرضي ومع حجم ماء الغسيل. وتعتبر عملية غسيل النترات غير مرغوبة اقتصادياً وبيئياً؛ فالنترات التي تتحرك بالغسيل تحت

منطقة جذور المحصول تمثل فقداً لعنصر غذائي مفيد للنبات، وكما ذكر سابقاً يمكنها أن تساهم في تلوث المياه الجوفية في الطبقات الصخرية الحاملة لها، وكذلك في حدوث ظاهرة التشبع الغذائي للمياه السطحية، كما هو موضح في شكل ٤ - ٨. ولقد اتجهت معظم الأبحاث التي أجريت باستخدام الأسمدة المعدنية، والأسمدة الحيوانية،



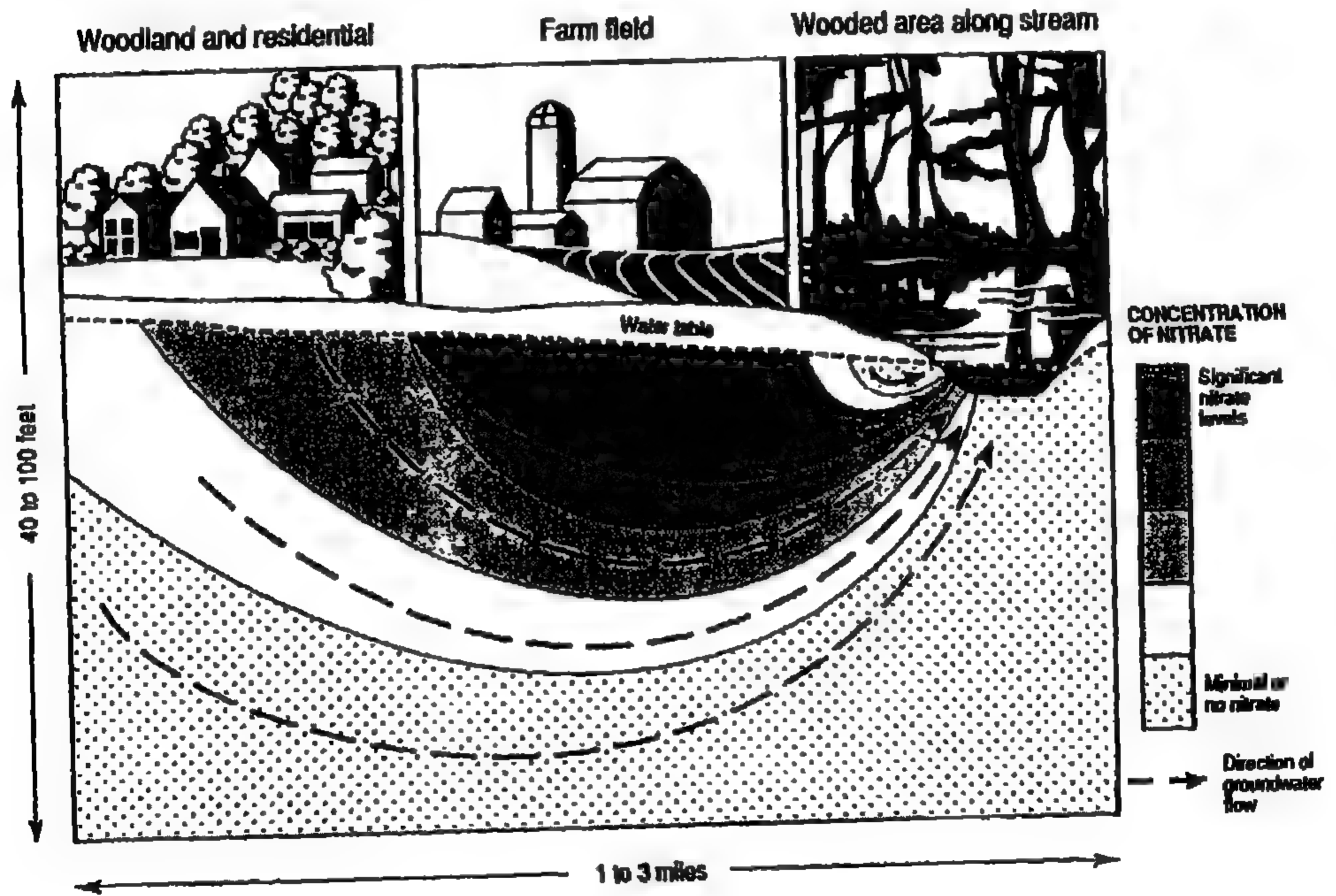
شكل ٤ - ٧ الأراضي الرطبة كمناطق حدوث عملية عكس التآزت؛ وتعتبر قادرة على إزالة النترات من مياه الأمطار السارية من الحقول الزراعية وكذلك من مياه الصرف تحت السطحي لهذه الحقول.

والمنتجات الثانوية الأخرى (مثل حمأة المجارى) - نحو تقليل غسيل النترات، خاصة فى المناطق الرطبة. ومع ذلك، لا يمثل تلوث المياه الجوفية بالنترات مشكلة عالمية، وهو فى الغالب، ذو طبيعة محلية أو على مستوى المنطقة، كما هو موضح فى شكل ٤ - ٩.

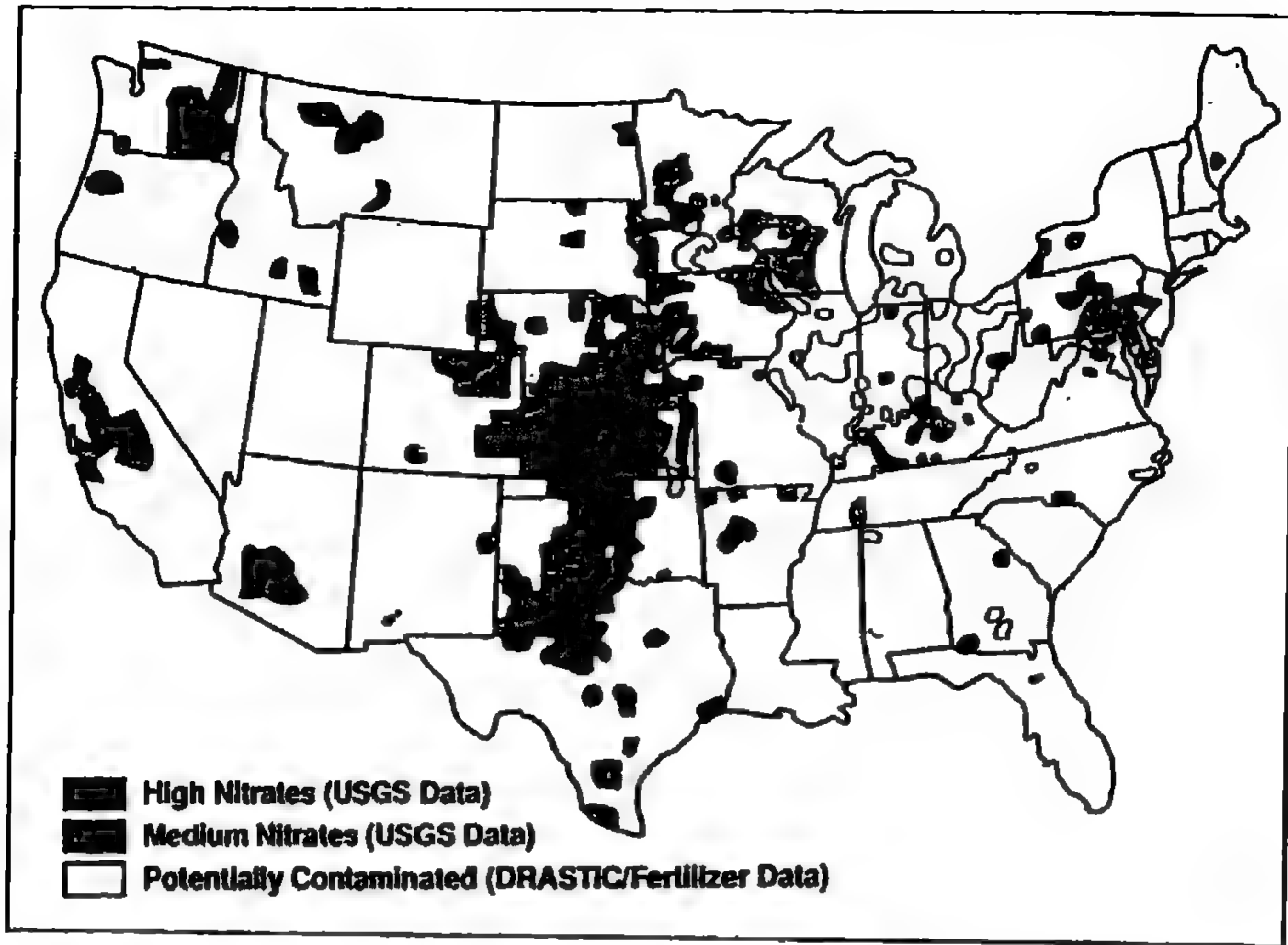
وتشمل الحالات المناسبة لحدوث غسيل النترات وتلوث المياه الجوفية الأراضى الرملية جيدة الصرف والتى لها مستوى ماء أرضى ضحل، وذلك فى المناطق التى تستقبل أمطاراً غزيرة أو رياً مكثفاً مع استخدام متكرر للأسمدة المعدنية، أو الأسمدة الحيوانية، أو مصادر نتروجين أخرى. ومع ذلك، لا يقتصر غسيل النترات على الحالات السابقة فحسب، ولكنه يشمل أيضاً أى حالة تتم فيها إضافات زائدة للنتروجين، ومناطق تخزين المخلفات العضوية (مثل: الحظائر، وأحواض تجميع المخلفات الحيوانية)، ومناطق الرى الكثيف، وجميعها لها القدرة على أن تسبب غسلاً معنوياً للنترات، بصرف النظر عن نوع التربة والمناخ. وإن الاحتفاظ الكيميائى (الادمصاص والتثبيت) للنترات فى قطاع التربة - على عكس الأنيونات الأخرى (الفوسفات، الكبريتات) - له تأثير ضئيل فى تقليل الغسيل، بالرغم من أن بعض طبقات تحت سطح التربة عالية الحموضة ثبت أن لها سعة تبادلية أنيونية معنوية. وقد تقلل عملية عكس النترة فى المياه الجوفية أو مناطق تصريف المياه الجوفية (مثل الأراضى الرطبة) من فقد النتروجين بالغسيل. كما أن حدوث عملية عكس النترة فى طبقات تحت سطح التربة له فى الغالب تأثير ضئيل فى تقليل غسيل النترات، وذلك بسبب انخفاض مستويات الكربون الميسر فى معظم طبقات تحت سطح التربة. وفى أى حالة، وبمعرفة التأثيرات الجوية لأكاسيد النتروجين، فإن تقنيات الإدارة المصممة للتحكم فى الغسيل عن طريق تشجيع عملية عكس النترة ينبغى أن تفحص بعناية. وبناء على ذلك فالأساليب التى تقلل غسيل النترات إلى أدنى مستوى، هى أساليب عملية فى طبيعتها وتركز على التحكم فى توقيت تكوين النترات فى الأراضى، وتشمل أيضاً فهم ظروف كل من التربة والمناخ للمنطقة وكذلك تشمل فهم نماذج امتصاص النتروجين بواسطة المحاصيل الشائعة النمو. وسوف نناقش هذه الأساليب بتفصيل أكبر فى القسم ٤ - ٤ لهذا الفصل.

السحل / التعرية / الإزالة / الانجراف :

تشير هذه العملية إلى انتقال التربة من الحقل بواسطة الرياح أو المياه، ويُعبّر ماء المطر السارى على السطح عن الماء المفقود من الحقل عندما يزيد معدل الترسيب عن قدرة الرشح للتربة. وتقوم كل من العمليتين بنقل النتروجين غير العضوى الذائب والنتروجين العضوى إلى المياه السطحية، وتشارك فى عملية التشبع الغذائى أو تلوث مياه الشرب. وأوضحت كثير من الدراسات التى عملت على أماكن تجمع الأمطار أن معظم النتروجين المفقود عن طريق الإزالة بالمياه أو بواسطة ماء المطر السارى على السطح، عبارة عن نتروجين عضوى مرتبط بالرواسب. وبالرغم من أن نوبان النترات



شكل ٤ - ٨ منظر عام يمثل انتقال النترات فى الصخور المائية الحاملة للمياه الجوفية، وهو يوضح اختلاف تركيز النترات تبعاً لاستقلال الأرض، وعمق الطبقة الصخرية، والمسافة إلى منطقة التصريف.
(Hamilton and Shedlock, 1992.)



شكل ٤ - ٩ احتمال تلوث المياه الجوفية بالنترات في الولايات المتحدة، وهو يوضح الطبيعة الإقليمية للمشكلة.

(Nielsen and Lee, 1987.)

في صالح فقدانها في ماء المطر الساري على سطح الأرض، وذلك عكس انتقال الرواسب، فإن فقد النتروجين الكلي، كما أوضحت الدراسات التي عملت على أماكن تجمع مياه الأمطار، عادة ما يكون أكبر من النتروجين الذائب بعدة أضعاف.

وتعتبر الإضافات السطحية للمخلفات العضوية غير مرغوبة، وذلك لأنها تزيد احتمال فقد النتروجين الذائب والعضوي عن طريق الإزالة وماء المطر الساري على السطح. وهذه الطريقة للإضافة غير مسموح باتباعها مع مخلفات الصرف الصحي والمخلفات الصناعية، ومع ذلك ففي العمليات الزراعية، نجد أن ممارسات صيانة الأراضي، المصممة لغرض منع التعرية عن طريق تقليل الحرث، يمكن أن تسمح بإضافة الأسمدة الحيوانية إلى سطح التربة. ويمكن أن تحدث أيضا الإضافات

السطحية للأسمدة الحيوانية عندما يضيف المزارعون هذه الأسمدة خلال شهور فصل الشتاء، حيث تكون التربة مجمدة وأقل حساسية للتدمير بالآلات أو للانجراف، وعندما يتيسر الوقت لذلك. وتستخدم الممرات المائية المزروعة بالأعشاب أو الأحزمة الخضراء على الحدود التي تحبس الرواسب وتجمع النتروجين الذائب في كتلتها الحيوية، لكي تساعد في تقليل فقد النتروجين في مثل هذه الحالات، كما هو موضح في جدول (٤ - ٤) حيث أمكن لشريط من بقايا عيدان الذرة بعرض ٢٧ متر وغطاء أرضي ٥٠٪ تخفيض الرواسب وكذلك تخفيض فقد النتروجين الكلى بحوالى ٧٠ - ٨٠٪.

٤ - ٢ - ٤ التثبيت الحيوى للنتروجين:

التثبيت الحيوى للنتروجين هو تحول النتروجين الجوى إلى صورة عضوية للنتروجين إما من خلال الارتباط التكافلى بين النباتات والكائنات الدقيقة أو من خلال علاقة حرة بواسطة الكائنات الحية الحرة مثل السيانو بكتريا (طحلب أخضر مزرق) وبعض البكتريا عضوية التغذية. وفى الحديث عن دورة النتروجين العالمية، يمثل التثبيت الحيوى للنتروجين أكبر مدخل (مصدر) للنتروجين إلى الأراضى.

ويمكن أن يحدث التثبيت التكافلى للنتروجين بين النباتات البقولية والبكتريا، وبين النباتات غير البقولية والأكتينوميستات، وفى بعض التجمعات المشتركة من الطحلب والنبات، والميزة العامة لهذا التكافل هو قدرة كائن تثبيت النتروجين أن يختزل، إنزيميا، النتروجين N_2 إلى أمونيا NH_3 فى وجود مصدر طاقة (التمثيل الضوئى) يوفره المضيف. ومن وجهة النظر الزراعية، فإن أهم نوع لتثبيت النتروجين التكافلى هو الذى يحدث بين النباتات البقولية والبكتريا من جنس الريزوبيوم والبرادى ريزوبيوم. وبالرغم من أننا سوف نركز على تثبيت النتروجين بواسطة البقوليات فى هذا الفصل، فيجب أن نذكر أن قدرة النباتات غير البقولية على تثبيت النتروجين الجوى تُعتبر متساوية فى الأهمية بالنسبة للأنظمة غير الزراعية وبعض المحاصيل المعينة، وكمثال غير بقولى، هناك تثبيت للنتروجين ينتج عن علاقة تكافلية بين الأكتينوميستات للجنس فرانكيا وأصناف عديدة من الأشجار والشجيرات الخشبية، وهى مهمة فى عملية تكوين الأراضى، وفى إعادة تخضير أراضى الغابات المفككة والسهلة الإنجراف، وهى مهمة

أيضا كمصادر لأخشاب الوقود. ومثال آخر غير بقولي، مثال زراعي لتثبيت النتروجين التكافلي هو الارتباط بين السيانونيكتيريا من جنس أنايينا ونبات الأزولا؛ وهو نبات سرخسي يطفو على سطح المياه العذبة، وينتشر بكثرة في المناطق الاستوائية المغيرة التي تستخدم في إنتاج الأرز. وتوجد بكتريا أنايينا على سيقان وأوراق نبات الأزولا، وعلى عكس الرزوبيوم أو الفرانكيا، لا تحول النتروجين مباشرة إلى نتروجين عضوي داخل النبات. فنتج بكتريا أنايينا أمونيومًا ذائبًا، وهذا يمتص بواسطة جذور نباتات الأزولا النامية في الماء أو في الجزء العلوي من الرواسب في حقول الأرز. وهذا النتروجين المثبت يمكن أن يستخدم مباشرة بواسطة الأرز عندما تموت حشائش الأزولا ويتمعدن النتروجين العضوي؛ وفي بعض البلدان يتم حصاد حشائش الأزولا وتستخدم كغذاء للحيوان أو كسماد عضوي.

جدول ٤ - ٤ استخدام أحزمة من بقايا النباتات لتقليل فقد النتروجين من أرض عارية ولها انحدار ٥٪ بواسطة الإزالة ومياه الأمطار السارية.

الحزام الخارج			الحزام الداخل			عرض الحزام، التغطية بالمخلفات ، نسبة الرطوبة السابقة
N الكلي**	الماء الساري*	الرواسب*	N الكلي**	الماء الساري*	الرواسب*	
١٦ر٥	٢٤٤	٦ر٠	٢٢ر٥	١٧١	٩ر٥	١٨م ، ٢٧٪ غطاء: جاف
٢٨ر٢	٣٧٣	١٤ر٣	٣١ر٩	٢٢٠	١٦ر٦	رطب جدا
١٤ر١	٢٨٠	٤ر٩	٤٥ر٣	٢٨٤	٢٢ر٧	٢٧م ، ٥٠٪ غطاء: جاف
١٣ر٠	٤٦٢	٤ر٩	٣٩ر٤	٣٨٦	٢٤ر٠	رطب جدا

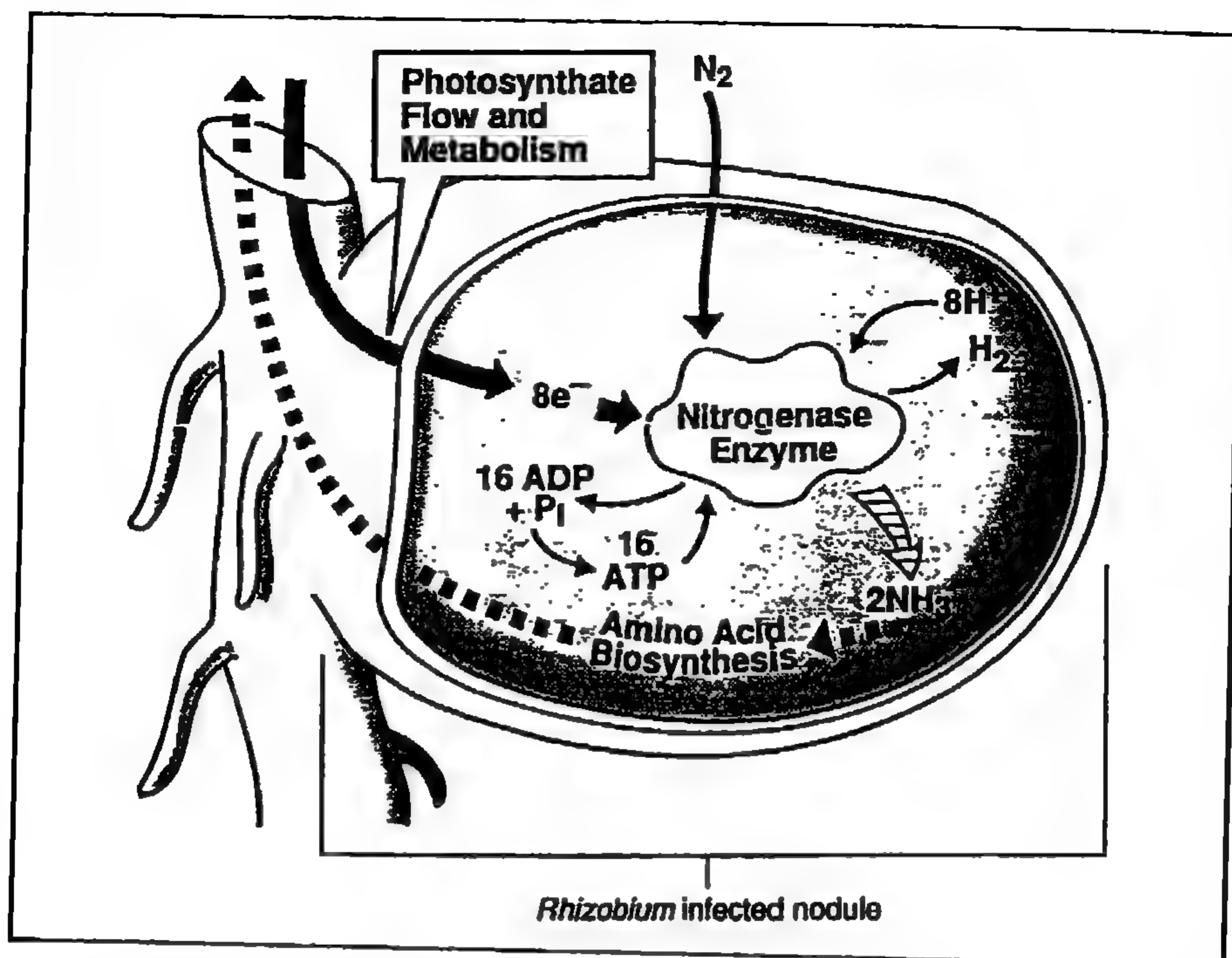
Alberts et al. 1981.

* كجم / ساعة / م عرض.

** جم / ساعة / م عرض.

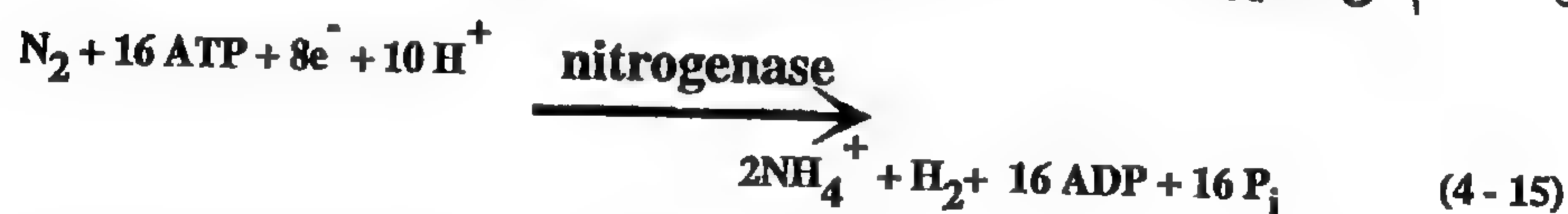
لقد ظلت النباتات البقولية لعدة قرون مكونات مهمة في نظم إنتاج المحاصيل، وهي تمثل الطريق الرئيسى لتحويل النتروجين الجوى إلى نتروجين تربة، ويعدّذ إلى صورة يمكن أن يستخدمها الإنسان والحيوان. ويوجد أكثر من ١٤ ألف صنف معروف من النباتات البقولية، ومن بينها أكثر من مائة صنف يشيع استخدامها في الزراعة. وبالإضافة إلى قيمتها المباشرة كمحاصيل غذائية، فإن بعض البقوليات تزرع بمفردها كغطاء للتربة؛ وذلك لى توفر النتروجين المحصول غير البقولى التالى (مثل البرسيم أو البيقعة ويليها الذرة). وسوف نناقش المسائل البيئية المتعلقة بالبقوليات بتفصيل أكبر فى قسم ٤ - ٤ - ٢، وهي مشابهة للمسائل الخاصة بالمصادر العضوية الأخرى للنتروجين، وتركز، بصفة أولية، على إدارة نتروجين النبات البقولى، وذلك لى نتحاشى غسيل النترات، والتعرية بواسطة سريان ماء المطر، وعكس النترة.

وتبدأ عملية التثبيت التكافلى للنتروجين بواسطة البقوليات عندما تقوم البكتريا الموجودة فى التربة بالقرب من جذور النبات العائل (المضيف) بلصق نفسها على خلايا الشعيرات الجذرية، ويفعلها هذا فإنها تحدث تجعيداً للشعيرة الجذرية حول البكتريا، ثم تنتج البكتريا بعد ذلك خيطاً (يسمى خيط العدوى) يجتاح الخلية الجذرية، ويسمح باختراق البكتريا وتكاثرها داخل لحاء أو قشرة الجذر. واستجابة لهذا الغزو البكتيرى، يقوم النبات بتخليق عقدة صغيرة، وهي بناء وقائى يحيط بالبكتريا التى غيرت شكلها الطبيعى حالياً وكذلك وظيفتها البنائية، ويشار إليها حالياً بالباكتيرويد (شكل ٤ - ١٠). وتعتبر علاقة البكتريا بالنبات المضيف علاقة نوعية تماماً، وهذا يعنى أن أى أصناف معينة من الريزوبيوم أو البرادى ريزوبيوم سوف لا تصيب بالعدوى، أو تكون عقداً مع، أى نباتات مضيضة غير متوافقة معها، ويمكن مقارنة العقدة بأعضاء النبات الأخرى التى تقوم بتحويل الطاقة، كما تمتلك غشاءً ينظم دخول وخروج المواد الغذائية من وإلى الباككتيرويد. وفى تفاعل تثبيت النتروجين يستخدم الباككتيرويد الطاقة المستمدة من التمثيل الضوئى (ATP، والإلكترونات)، والأكسجين، وإنزيم متخصص هو



شكل ٤ - ١٠ رسم تخطيطي يوضح شكل ووظيفة البكتيريود في العقد الجذرية للنبات البقولى.

النتروجينيز، لتقليل تحول N_2 إلى NH_4^+ التى تنطلق فى خلايا النبات المضيف وتستخدم فى تخليق الأحماض الأمينية. وتصبح معادلة تثبيت النتروجين كما يلى:



ولكل تجمع من البكتريا والنبات المضيف قدرته الوراثية الخاصة بتثبيت النتروجين. فلاى تكافل معلوم، فإن الكمية الفعلية للنتروجين المثبت تعتمد، بصفة أولية، على نتروجين التربة الميسر وحالة الطاقة للنبات؛ وهذه بالتالى تتأثر بعوامل أخرى مثل: وفرة الكربوهيدرات، وشدة الضوء، وحالة العنصر الغذائى فى التربة، ودرجة حرارة التربة، والرطوبة. ويوضح جدول (٤ - ٥) أمثلة للبقوليات الهامة زراعيا والكميات المقدرة للنتروجين المثبت تحت ظروف مثالية.

وعموما، فالعوامل البيئية المهمة فى تثبيت النتروجين تشمل: رقم حموضة تربة (قريب من التعادل)، وفرة العناصر الغذائية الأساسية (Co, Mo, Fe, Ca, K, P)، درجة الحرارة المثلى والرطوبة (تختلف طبقا للنبات المضيف)، تهوية كافية، مستوى منخفض من نتروجين التربة الميسر (أمونيوم، نترات). ومن المهم أن نتذكر أنه حتى تحت الظروف المثالية، فإن البقوليات لا تحصل على جميع ماتحتاجه من النتروجين من

جدول ٤ - ٥ المحاصيل البقولية الرئيسية الشائعة فى الزراعة وتقديرات النتروجين المثبت سنويا.

المحصول	البكتريا المثبتة للنتروجين	N ₂ المثبت سنويا	
		المدى كجم/هكتار/ سنة	القيمة النموذجية كجم/هكتار/ سنة
النبات المضيف:	ريزوبيوم (R) :		
البرسيم الحجازى	<i>R. meliloti</i>	٦٠ — ٥٠٠	٢٢٥
البرسيم	<i>R. trifolii</i>	٦٠ — ٢٥٠	١١٥
البسلة، البيقة	<i>R. leguminosarum</i>	٩٠ — ١٨٠	١٠٠
الفول	<i>R. phaseoli</i>	٢٠ — ١٠٠	٤٥
النبات المضيف:	برادى ريزوبيوم (B) :		
الترمس	<i>B. lupini</i>	١٥٠ — ١٧٠	١٦٠
فول الصويا	<i>B. japonicum</i>	٦٥ — ٢٠٠	١٠٠
اللوبياء	<i>B. parsoniae</i>	٦٥ — ١٢٠	١٠٠

لاحظ أن الريزوبيوم بكتريا تكافلية سريعة النمو؛ بينما برادى ريزوبيوم بطيئة فى نموها.

التثبيت الحيوى للنتروجين، فيمكن لنتروجين التربة أن يمد أكثر من ٥٠٪ من النتروجين الكلى فى البقوليات ذات معدلات التثبيت المنخفضة. وأيضاً، إذا تعدى تركيز النترات فى المحلول الأرضى واحد ملليمولار، تصبح عملية تثبيت النتروجين محدودة. وهذا يمكن أن يحدث عندما تزرع البقوليات فى أراضى ذات مستويات عالية من النتروجين المتبقى، وهذا ينتج من سماد معدنى سابق أو إضافة مخلف عضوى. وفى حالة إمداد هذه البقوليات بسماد معدنى نتروجينى وبكمية كافية، فإن هذه البقوليات سوف لا تُكوّن عقداً بكتيرية وسوف لا يحدث تثبيت للنتروجين. وقد أدى هذا إلى حدوث مناقشات حول القيمة الاقتصادية للسماد النتروجينى «البادئ Starter» للبقوليات (مثل فول الصويا)، وكذلك حول التأثير البيئى لإضافة مصادر نتروجين عضوية، مثل السماد الحيوانى والحماة، للبقوليات. على أن وجود كمية صغيرة من النتروجين الميسر قبل التكوين الفعال للعقد البكتيرية قد يفيد النبات، ولكن الزيادة من السماد النتروجينى سوف تخفض، فى الغالب، أو توقف التثبيت الحيوى للنتروجين.

وبالإضافة إلى العملية التكافلية، فإن تثبيت النتروجين يمكن أن يحدث مع بعض أصناف الكائنات الحية الحرة. وأهم الأمثلة لذلك هى السيانوبكتريا (مثل الأنابينا، انظر سابقاً) وهى ذاتية التغذية (تحتاج فقط: الضوء، الماء، N_2 , CO_2 ، والأملاح)، وبكتريا معينة عضوية التغذية. ومن الأمثلة غير التكافلية المهمة، البكتريا المثبتة للنتروجين وتشمل الأزوتوباكتر والبجيرنكيا، وهى مترممة هوائية وتحصل على الطاقة من أكسدة المادة العضوية، والأزوسبريلالم، وهى بكتريا لاهوائية اختيارية، والكلوستريديوم، وهى مترممة لاهوائية. وبصفة عامة، بسبب أن كمية النتروجين المثبتة بواسطة هذه البكتريا صغيرة (٥ - ٥٠ كجم للهكتار)، فهى أقل أهمية فى معظم برامج إدارة نتروجين التربة.

٤ - ٣ مصادر النتروجين :

إن إنتاج الغذاء والألياف، وزراعة النباتات لأغراض جمالية، واستصلاح وتثبيت الأراضي المفككة بسبب البناء، والتعدين، والأنشطة الأخرى الصناعية والحضرية - يتطلب في الغالب إضافة تكميلية من النتروجين للحصول على نمو مثالي للنبات. ويوجد قسمان كبيران لمصادر النتروجين؛ مصادر غير عضوية، ومصادر عضوية. تسود مصادر النتروجين غير العضوية في الأسمدة التجارية، ولكنها تشمل أيضا كميات محدودة من الرواسب والنواتج الثانوية الصناعية. وتشمل مصادر النتروجين العضوية عموماً: الأسمدة الحيوانية، وبقايا المحاصيل، وحماة المجارى، ومياه المجارى الخام، وأصناف كثيرة من المخلفات العضوية الصناعية. وطبقاً لسجلات التاريخ، فإن المصدر الرئيسى للنتروجين المضاف للأراضي كان عضوياً في طبيعته، سواءً في صورة أسمدة حيوانية أو بقايا محاصيل. وأول سماد نتروجينى استخدام على مستوى تجارى فى الولايات المتحدة الأمريكية كان سماد الجوانو البيروفي (نسبة إلى بيرو بأمريكا الجنوبية)، وهو سماد عضوى أيضاً في طبيعته، وتكوّن من عصور ترسيبات زرق الطيور البحرية بطول الساحل الأمريكى الجنوبى.

وفى أواخر القرن الثامن عشر وأوائل القرن التاسع عشر، تطورت العمليات الصناعية التى أمكنها أن تثبت النتروجين الجوى، محوّل إياه إلى أمونيا غازية، وسيناميد كالسيوم، أو حمض نترىك. ثم حدث بعد ذلك تحسّن فى كفاءة هذه العمليات - مثل طريقة هابر - بوش لتخليق غاز الأمونيا من النتروجين الجوى - أدّى إلى توفير أسمدة نتروجينية رخيصة الثمن، عالية فى محتواها النتروجينى، وبدأ يحدث تغيير ملحوظ فى طبيعة الزراعة على مستوى العالم. ولم يعد إنتاج الغذاء متوقفاً على وفرة الأراضي، أو الأسمدة، أو النتروجين من البقوليات، بسبب أن السماد النتروجينى أصبح يستخدم ليرفع بدرجة كبيرة إنتاجية الهكتار لمعظم المحاصيل الزراعية. بجانب ذلك، فإن سهولة تداول الأسمدة النتروجينية قللت احتياجات العمالة اللازمة لإنتاج

المحاصيل، وساهمت فى تطور مزارع ذات مساحات أكبر، ومتخصصة بدرجة أكبر، وكانت هذه المزارع تستخدم لإنتاج أقل من المحاصيل.

ورغما عن ذلك، لم تتساوى دائما القدرة الإنتاجية الزائدة مع كفاءة استخدام النتروجين الزائدة. وبالرغم من تعلُّم المزارعين (وهؤلاء الذين ينصحونهم) استخدام أسمدة جديدة بمفردها أو مركبة مع مصادر نتروجين عضوية، واستخدام أجهزة جديدة، ونظم زراعة جديدة، فكانوا فى الغالب يباشرون ذلك بدون فهم حقيقى لما تتضمنه من آثار بيئية محتملة. وقد أدّى عدم الثقة المرتبط بالممارسات الجديدة فى الإنتاج وانخفاض ثمن الأسمدة النتروجينية إلى تسميد زائد بالنتروجين، وساهم هذا فى حدوث تلوث للمياه الجوفية بالنترات وخاصة فى المناطق ذات التسميد المكثف.

وبصرف النظر عن صورة النتروجين المستخدم أو طبيعة نظام الأرض - نبات، فإن تعظيم كفاءة امتصاص النتروجين وتقليل قدرة مصدر النتروجين فى أن يلوث البيئة إلى أدنى حد، تعدّ الآن أهدافاً أساسية للزراعة الحديثة، ولتحقيق إدارة سليمة لأى مصدر نتروجينى، فمن الضرورى أن نفهم جيدا كيف تؤثر الخواص الفيزيائية، أو الكيميائية، أو الحيوية للمادة السمادية على تداولها، وإضافاتها، ومصيرها بين التحولات العديدة لدورة نتروجين التربة. ومن المهم أيضا أن نفهم أن جميع المشاكل البيئية التى تنتج عن الإدارة غير السليمة للنتروجين يمكن أن تحدث مع كل من مصادر النتروجين غير العضوية والعضوية. هذا، وبالرغم من الاهتمام الكبير فى الزراعة المستدامة والزراعة العضوية، لم تُظهر البحوث تفوقاً حقيقياً مرتبطاً بمصادر النتروجين العضوية. وفى الحقيقة؛ ففى الكثير من الحالات، فإن الخواص الطبيعية واختلاف العناصر أو المكونات الداخلة فى تركيب المخلفات العضوية تجعل من الصعوبة الزائدة أن نقوم بإدارتها بنجاح أكثر من أسمدة النتروجين التجارية.

وتهدف الأقسام التالية إلى إعطاء نظرة شاملة عن إنتاج، وتركيب، وخواص مصادر النتروجين المهمة غير العضوية والعضوية والتى تستخدم كمحسنات للتربة، وإلى إيضاح النقاط الجوهرية المرتبطة بالاستخدامات البيئية الصحيحة لجميع مصادر النتروجين.

٤ - ٣ - ١ مصادر النتروجين غير العضوية :

يوضح جدول (٤ - ٦) معظم أسمدة النتروجين الشائعة الإستخدام، وتنتج هذه الأسمدة من غاز الأمونيا المصنّع بطريقة هابر - بوش. وتستخدم هذه الطريقة الغاز الطبيعي (CH₄)، والنتروجين الجوى (N₂)، وبخار الماء (H₂O)، لإنتاج غاز الأمونيا (NH₃) كما يلي:



ويبين هذا بوضوح جانباً بيئياً آخر لاستخدام النتروجين، وهو تأثيره على الموارد الطبيعية، بسبب أن إنتاج أسمدة النتروجين تستهلك الغاز الطبيعي، وهو مورد طبيعي محدود (غير متجدد) ومهم. وبالتالي، فسوف يشجع الاستخدام الكفء لأسمدة النتروجين طول عمر موارد الغاز الطبيعي.

وبمجرد تصنيع غاز الأمونيا يمكن استخدامه:

- (١) مباشرة في صورة أمونيا لا مائية، وغاز مضغوط (NH₃)،
- (٢) يتفاعل مع ثاني أكسيد الكربون لتكوين يوريا [CO (NH₂)₂]
- (٣) يتأكسد إلى نترات التي تتفاعل مع زيادة من الأمونيا لتكون نترات الأمونيوم (NH₄NO₃)،
- (٤) يرتبط مع حامض كبريتيك لإنتاج كبريتات أمونيوم [(NH₄)₂SO₄]، أو مع أنواع عديدة لحامض الفوسفوريك لتكوين فوسفات الأمونيوم مثل فوسفات ثنائي الأمونيوم [DAP, (NH₄)₂HPO₄] أو فوسفات أحادي الأمونيوم [MAP, NH₄H₂PO₄].

ويمكن أن تستخدم العمليات الصناعية أيضاً في إنتاج محاليل نتروجينية (مثل يوريا - أمونيوم - نترات UAN أو الأمونيا المائية) أو الأسمدة التي يمكن التحكم فيها، وهي الأسمدة بطيئة التيسر، والأسمدة الصلبة التي تغطى بمواد راتنجية (الأزموكوت Osmocote، المستخدم في الصوب والمشاتل) أو تغطى بكبريت (اليوريا المغلفة بالكبريت)

وذلك لتأخير معدل ذوبانها في التربة. كما تنتج أيضا أنواع كثيرة من الأسمدة المخلوطة التي تحتوي على K, P, N وبعض المغذيات الأخرى. وفي كثير من المناطق الحضرية (مثل المساحات المغطاة بالحشائش والأعشاب، حدائق المنازل) ومشارع استصلاح الأراضي تستخدم أسمدة مخلوطة بأسلوب مكثف لإمداد النتروجين وتدعيم الحالة الغذائية الكلية للأراضي المنخفضة الخصوبة. كما تتوافر أيضا أسمدة النتروجين النتراتية (مثل نترات الكالسيوم أو نترات البوتاسيوم) KNO_3 , $Ca(NO_3)_2$ ، ومع ذلك، فبسبب تكلفة الإنتاج، والكفاءة الأقل لامتصاص النتروجين من الأسمدة النتراتية، تستخدم هذه الأسمدة النتراتية لنوعية خاصة من المحاصيل (الخضروات، الفواكه، التبغ) أو للمحاصيل الحساسة للأمونيا.

وتتحكم العوامل الاقتصادية، أكثر من أي عامل آخر، في اختيار المصدر النتروجيني. وبصفة عامة، فالأسمدة ذات المحتوى الأعلى من النتروجين لها تكلفة أقل في التخزين، والنقل، والمناولة، والإضافة، وعلى ذلك فهي اقتصادية أكثر من غيرها. إلا أن خواص بعض الأسمدة وبالأذات المرتفعة في محتواها النتروجيني يمكن أن ترفع قيمة التكلفة. فعلى سبيل المثال، الأمونيا اللامائية، التي لها أعلى محتوى نتروجين عن أي سماد آخر (82% N)، تتطلب جهاز إضافة معقد يستطيع أن يضبط الغاز، ويحوله إلى سائل، ويحقن الأمونيا في التربة بطريقة تقلل فقدتها بالتطاير. ويمثل تطاير الأمونيا مشكلة كبيرة مع اليوريا، والتي هي أعلى سماد صلب في محتواها النتروجيني (45% N)؛ وتتطلب، في الغالب، نوعاً من الدمج في التربة لتعظيم كفاءة امتصاص النتروجين من هذا المصدر. ولا تعتبر الخواص الطبيعية والكيميائية لمصادر النتروجين العوامل الوحيدة التي تؤثر في اختيار السماد. ففي الولايات المتحدة يوجد تفضيل إقليمي واضح للأسمدة المعدنية النتروجينية، وهذا التفضيل، غالباً، مرتبط بالبنية الأساسية الخاصة بتصنيع الأسمدة ونقلها، والتي تطورت مع الزمن، أكثر من ارتباطه بالاحتياجات الخاصة لنظم الزراعة الإقليمية (شكل ٤ - ١١).

وتشمل العوامل الأخرى التي تؤثر في اختيار السماد النتروجيني: ممارسات إدارة المحصول (نوع المحصول والدورة الزراعية، الحرث، الري)، ونوع التربة

جدول ٤ - ٦ خواص أسمدة النتروجين التجارية الرئيسية.

%N	التركيب الكيميائي	مصدر النتروجين
		المصادر الأمونيومية:
٨٢	NH_3	أمونيا لا مائية
٢٥ - ٢٠	$\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	أمونيا مائية
٢٥	$\text{NH}_4 \text{Cl}$	كلوريد أمونيوم
٢٣	$\text{NH}_4 \text{NO}_3$	نترات أمونيوم
٢١	$(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$	كبريتات أمونيوم
		المصادر النتراتية:
١٥	$\text{Ca} (\text{NO}_3)_2$	نترات الكالسيوم
١٣	KNO_3	نترات البوتاسيوم
١٦	Na NO_3	نترات الصوديوم
		اليوريا ومشتقاتها:
٤٥	$\text{CO} (\text{NH}_2)_2$	اليوريا
٣٢ - ٢٨	NH_4NO_3 ٢٠ - ٢٥ يوريا + ٤٠ - ٤٢	محلول يوريا - نترات أمونيوم
٣٨	يوريا فورما لاميد	يوريا فورم
٣٢	أيند بير تيلين ثاني اليوريا	IBDU
٣٨ - ٣٦	يوريا مغلقة بالكبريت	SCU
		مواد نتروجين - فوسفور:
١١	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	فوسفات أحادي الأمونيوم
٢١ - ١٨	$(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$	فوسفات ثنائي الأمونيوم
١١ - ١٠	$(\text{NH}_4)_3 \text{HP}_2 \text{O}_7$	محلول أمونيوم عديد الفوسفات.

وحساسيتها لفقد النتروجين، وتأثير السماد النتروجيني على رقم حموضة التربة (عملية النترة لها تأثير حامضى، تختلف أسمدة النتروجين فى قدرتها على خفض رقم حموضة التربة)، والحاجة إلى الإضافة المتزامنة (فى نفس الوقت) للعناصر الغذائية الأخرى، وصلاحية المادة السمادية لجهاز الإضافة الموجود. وستناقش تأثيرات هذه العوامل على إدارة النتروجين بتفصيل أكبر فى قسم ٤ - ٤.

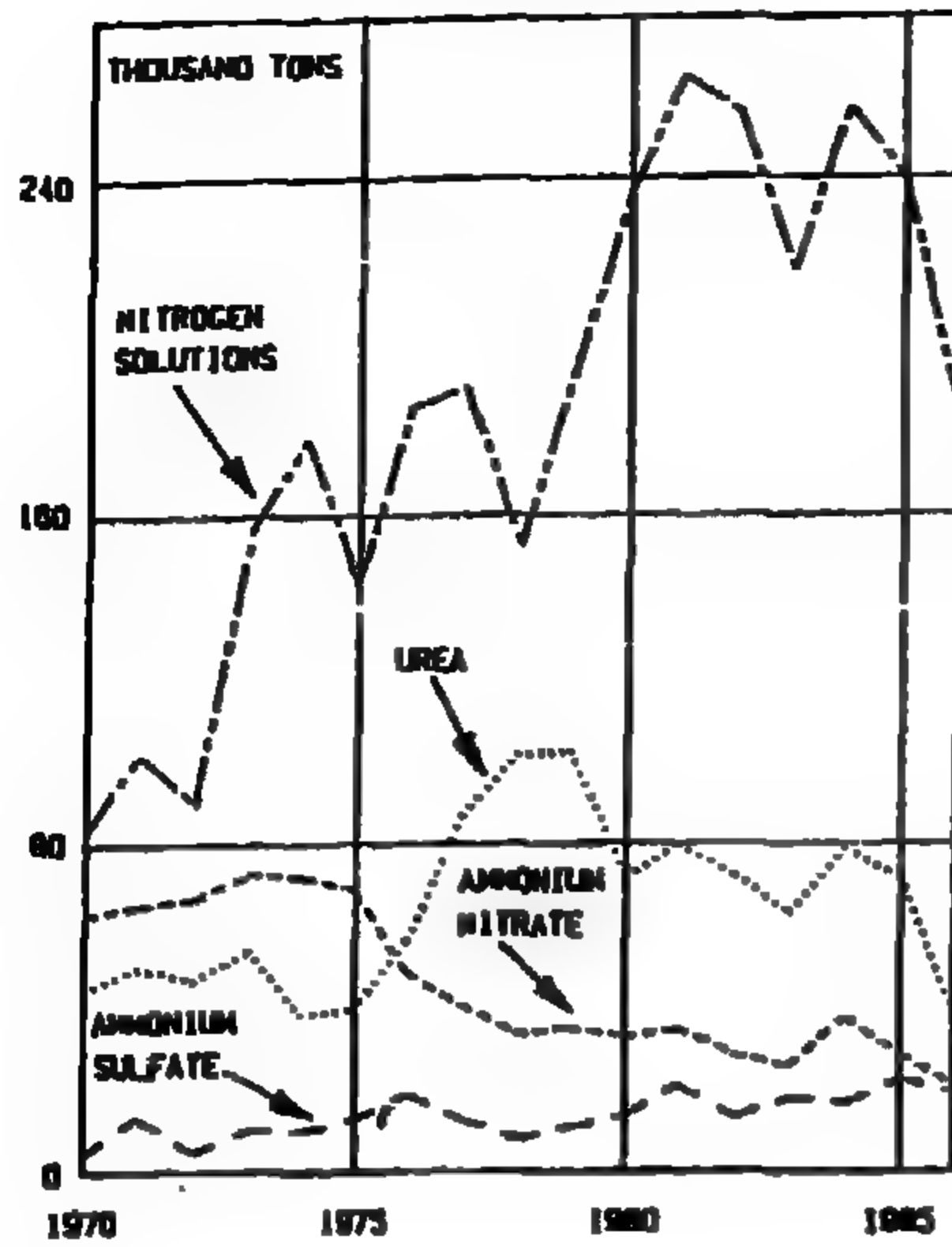
٤ - ٣ - ٢ مصادر النتروجين العضوية :

تستخدم مجموعة كبيرة متنوعة من المواد العضوية كمحسنات للتربة، وكثير منها يحتوى على كميات معقولة من النتروجين؛ فالأسمدة الحيوانية، وحمأة المجارى، ومياه المجارى الخام، والأسمدة العضوية المصنعة من المخلفات الصلبة البلدية أو مخلفات الحظائر والساحات، ومخلفات تصنيع الغذاء، والكيماويات العضوية الصناعية، وبقايا المحاصيل ونواتج الغابات، تمثل المخلفات العضوية السائدة التى تنتج على مستوى العالم. وتقدر كمية المخلفات العضوية المنتجة سنويا فى الولايات المتحدة بأكثر من ٤٠٠ مليون طن متري فى السنة. وتبدو خطورة وأهمية هذه المشكلة عندما نُعبر عن هذه الكمية على أساس «بالنسبة للشخص». وفيما يخص الأسمدة الحيوانية، ومخلفات البلدية الصلبة وحمأة المجارى، والمخلفات الصلبة من الصناعة وحمأة معالجة المياه، وبقايا الأشجار الحراجية، فإن الكمية الناتجة تكافئ تقريبا ٩٠٠، ٥٥٠، ٤٥٠، ٤٠٠ كجم للشخص فى السنة (على أساس الوزن الجاف)، بالترتيب، وتهدف التغييرات الحادثة فى الولايات المتحدة وبعض الأقطار الأخرى إلى تغيير طبيعة وتوزيع المخلفات العضوية بدرجة معنوية. وفى ولايات كثيرة، فإن الدفن فى باطن الأرض لمخلفات الساحات (أوراق الأشجار المتساقطة، نواتج قص الحشائش)، والتى بلغت حوالى ٢٠٪ من حجم ما يدفن فى الأرض، أصبحت بسرعة ممارسة غير مقبولة، وجارى حاليا استبدالها بإنتاج أسمدة عضوية صناعية (كمبوست) من هذه المخلفات على نحو تجارى. وبطريقة مشابهة، قامت بعض البلديات بتطوير عمليات الكمبوست بالنسبة

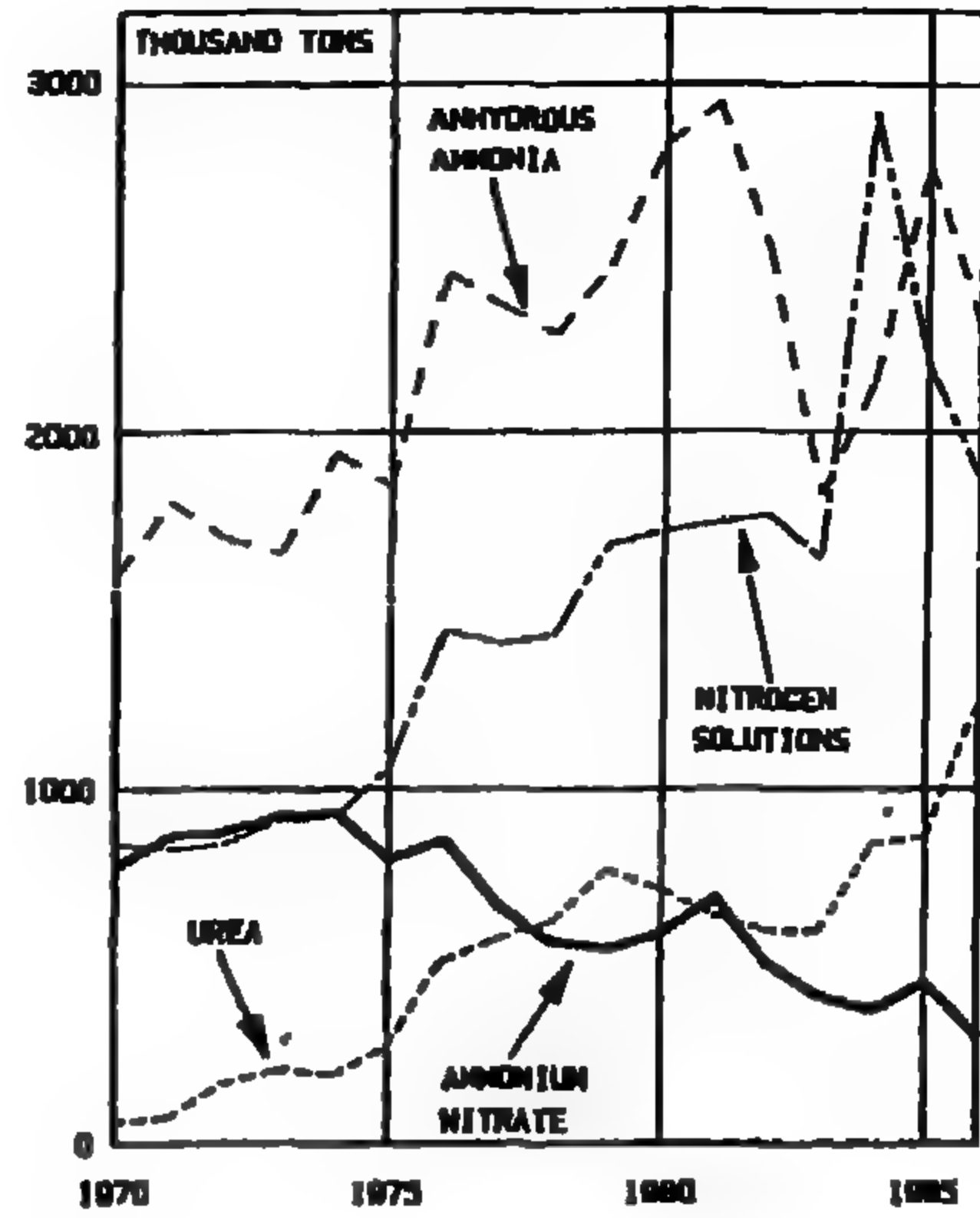
لحماة المجارى والجزء العضوى من نفايات البلدية. ولقد أدى إنتاج هذه الأسمدة العضوية الصناعية «كمبوست» بالتأكيد إلى حدوث زيادات كبيرة فى كمية النتروجين العضوى المضاف إلى الأراضى. كما تشمل بعض التغيرات الحادثة إنتاج سماد عضوى صناعى «كمبوسبت» أو كُرات أو مُصَبَّعات من الأسمدة الحيوانية فى المناطق التى توجد فيها كميات الأسمدة الحيوانية زائدة بدرجة كبيرة عن احتياجات الأراضى الزراعية. وإن إزالة الأسمدة الحيوانية ونقلها بعيداً عن المزرعة، للاستعمال فى المناطق الحضرية، أو فى مشاريع البناء والاستصلاح، يؤدى فى الغالب إلى زيادة استخدام هذه المواد فى برامج إضافتها للأراضى بما فى ذلك محاصيل البساتين، والحشائش والأعشاب، وإعادة تخضير بعض المناطق لى تستخدمها الحيوانات الأليفة والبرية.

وبالرغم من أن جميع المخلفات العضوية تحتوى نيتروجين، فإن كمية النتروجين، وصوره، ودرجة تيسره، تختلف بدرجة كبيرة. وهناك بيانات متوفرة عن متوسط محتوى معظم المخلفات العضوية من النتروجين وكذلك عن مداه أيضاً، ولكن التغيرات الكبيرة فى محتوى هذه المخلفات من النتروجين الكلى وغير العضوى (مثل الأمونيا والنترات)؛ تجعل ترجمة نتائج تحليل النتروجين أو العناصر الأخرى مشكلة قائمة. والتعميم الواسع لمحتوى النتروجين فى المخلفات العضوية، ربما يكون له مبرراته؛ بسبب أنه أصبح من الموثوق فيه بدرجة كافية أن مخلفات عضوية معينة ستظل بصفة منتظمة لها محتوى نيتروجين كلى أعلى من البعض الآخر، كما هو موضح فى جدول (٤ - ٧) للأسمدة الحيوانية (الدواجن < الخنزير < ماشية اللبن < ماشية اللحوم)، ومنتجات حماة البلديات (الهوائية < اللاهوائية < المصنوعة سماداً عضوياً). وبالرغم من ذلك، يمكن أن يؤدى المدى الواسع فى نسبة النتروجين الكلى بين الأنواع المتشابهة للمخلفات إلى توريطات معنوية بالنسبة لإضافة النتروجين للأراضى والمحاصيل، كما يوضحه شكل (٤ - ١٢). فى هذه الدراسة، تم تقدير كمية السماد العضوى اللازم لإمداد كمية النتروجين المطلوبة لنبات الذرة من سماد الدواجن، بالاعتماد على تحليل عينات السماد من ١٧ منطقة لتخزين سماد المزرعة. وعندما قورنت كمية النتروجين

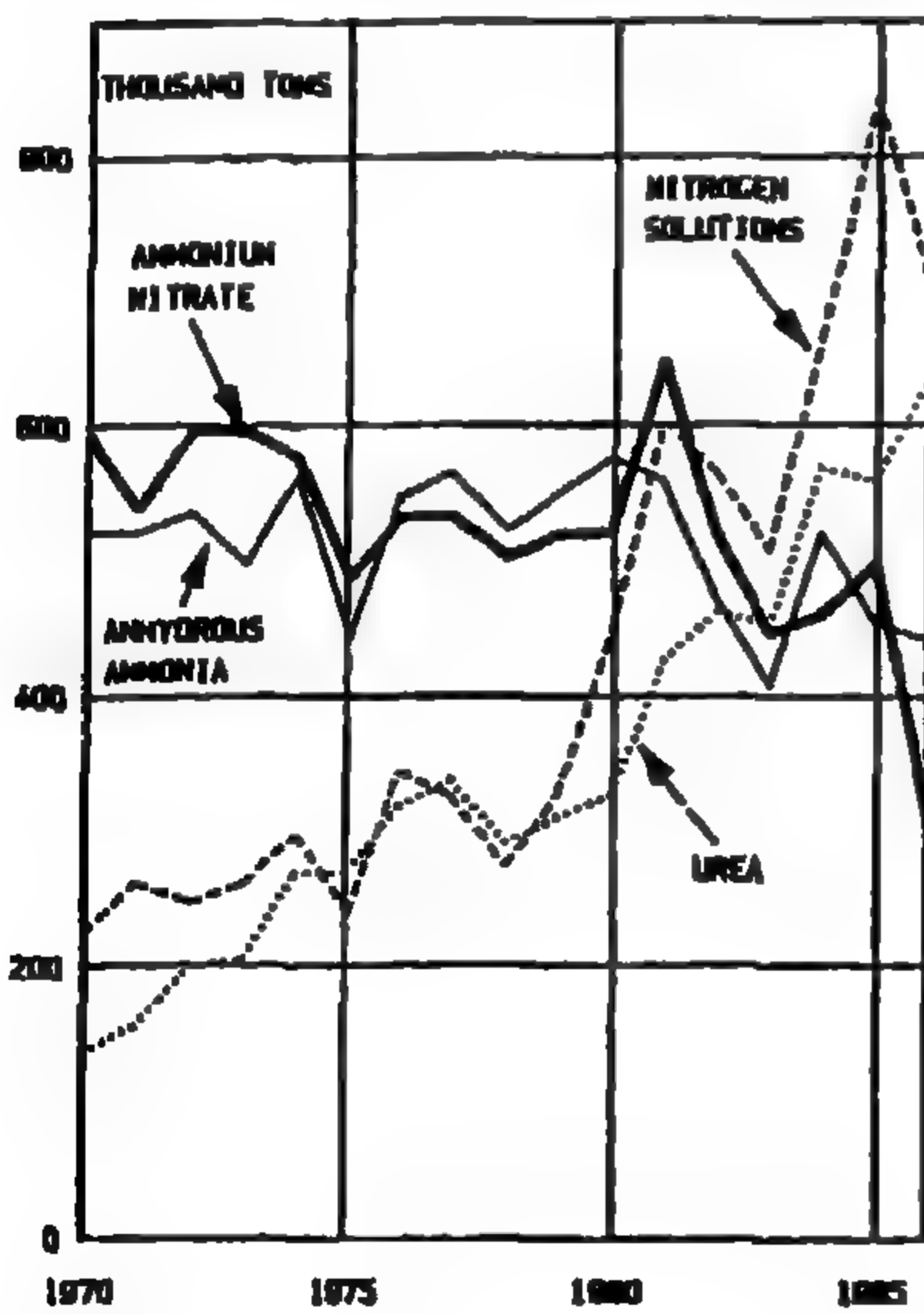
Mid-Atlantic



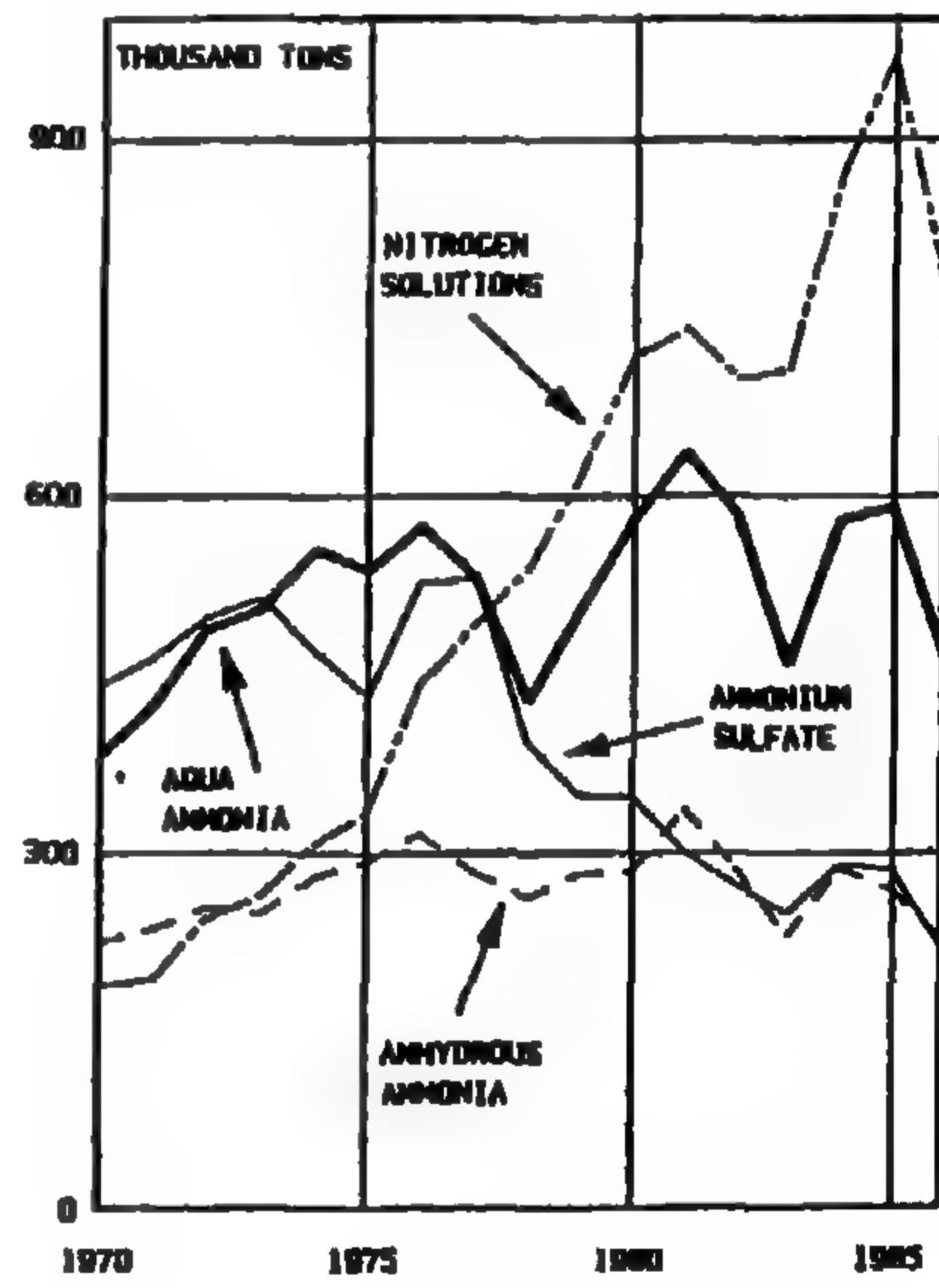
West North Central



West South Central



Pacific



شكل ٤ - ١١ الأفضلية والاتجاهات في استخدام الأسمدة النتروجينية في المناطق المختلفة.
(Berry and Hargett, 1986.)

جدول ٤ - ٧ القيم الممثلة لنسبة النتروجين ودرجة تيسره في بعض المخلفات العضوية.

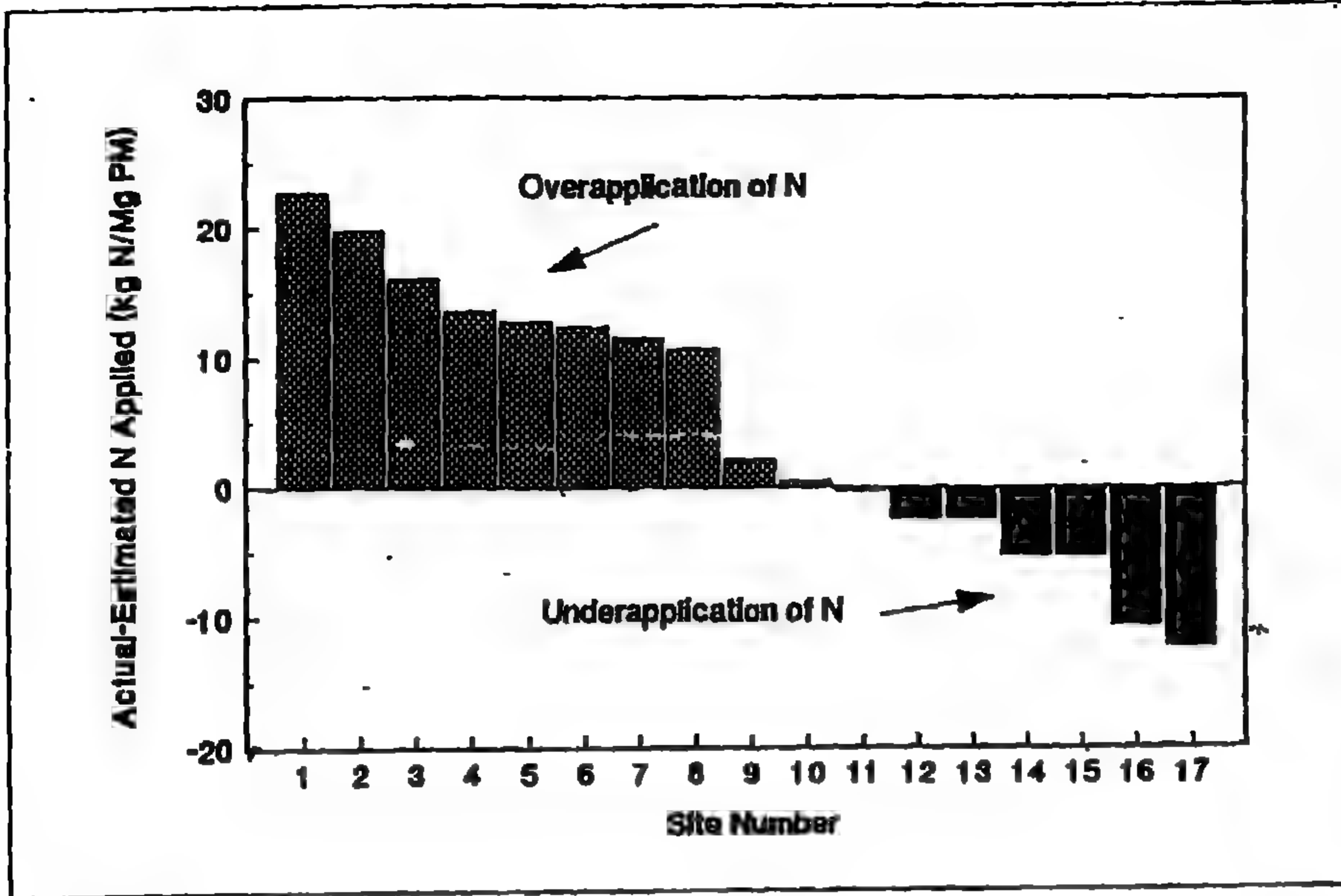
مصدر النتروجين العضوي	N الكلي (%)	N العضوي المتمعدن* (%)
أسمدة حيوانية:		
أبقار اللحم	١٣ — ١٨	٢٥ — ٣٥
أبقار الألبان	٢٥ — ٣٠	٢٥ — ٤٠
الدواجن	٤٠ — ٦٠	٥٠ — ٧٠
الخنزير	٣٥ — ٤٥	٣٠ — ٥٠
منتجات الحماة:		
هضم هوائي	٢٥ — ٥٠	٢٥ — ٤٠
هضم لاهوائي	١٨ — ٢٥	١٠ — ٢٠
مصنعة كمبوست	٥ — ١٥	١٠ — (١٠ —)
مخلفات أخرى:		
مخلفات تخمير	٣٠ — ٨٠	٢٠ — ٥٠
مخلفات تصنيع الدواجن	٤٠ — ٨	٤٠ — ٦٠
حماة مصانع الورق	٢ — ١٠	٥ — (٢٠ —)

ملحوظة : القيم المذكورة من مصادر عديدة.

* النتروجين العضوي المتمعدن مقدر من دراسات التحضين في المعامل. وتوضح القيم السالبة لكمبوست حماة المجارى وكمبوست حماة مصانع الورق - حدوث عملية التثبيت في صورة عضوية.

المتنبأ بإضافتها بتلك الكمية المضافة فعلا، اعتماداً على تحليل عينات السماد التي جمعت أثناء الإضافة، وجد أن زيادة الإضافة بمقدار ١٠ - ٢٠ كجم /N طن سماد عضوى أدت إلى النتيجة نفسها التي حدثت فى حالة نقص الإضافة بمقدار ٥ - ١٠ كجم/طن سماد. وعلى ذلك، فإن الإضافة المضبوطة للمعدل السمادى الموصى به للذرة (حوالى ٥ طن/هكتار)، معتمداً على تحليل السماد، أدت فى الغالب إلى إضافة زيادة من السماد تقارب الاحتياجات الكلية للمحصول من النتروجين (حوالى ١٠٠ كجم /N هكتار). وبكل وضوح ؛ فالأمر يتطلب أسلوباً أكثر شمولية من تحليل النتروجين ومعايرة الأجهزة، وذلك لتلافى الإضافة الزائدة أو الناقصة للنتروجين من المخلفات العضوية.

وتوجد بعض الأساليب الحديثة الإبداعية لإدارة النتروجين العضوى مشروحة فى قسم ٤ - ٤ من هذا الفصل. وعموماً، فإن المفتاح إلى الاستخدام الفعال لمصادر النتروجين العضوية هو فهم العوامل التى تؤثر فى درجة انتشار ومعدل تحول النتروجين العضوى إلى صور ميسرة للامتصاص بواسطة النبات أو للفقد فى البيئة. ويتأثر تيسر النتروجين فى المخلفات العضوية بتركيب هذه المخلفات، وبطريقة إنتاج المخلف وطريقة تخزينه، وكذلك أيضاً بالتغيرات الكيميائية والحيوية التى تحدث بعد إضافته إلى التربة. ولقد توجهت كثير من البحوث نحو تحديد الاختلافات فى درجة تيسر النتروجين بين الأنواع المختلفة للمخلفات، ثم استخدام خواص المخلف للتنبؤ بتيسر النتروجين. وبالنسبة لتركيب المخلف، أوضحت هذه الدراسات أنه يمكن تصنيف المخلفات إلى مجموعات بالنسبة لتيسر النتروجين العضوى فيها (جدول ٤ - ٧). فبعض المخلفات (مثل سماد الدواجن، الحماة المهضومة هوائياً) ليست عالية فى النتروجين الكلى فحسب، ولكنها تعطى أيضاً نتروجين أكثر بتحللها فى التربة، مقارنة بالمخلفات الأخرى الأكثر ثباتاً (مثل الكمبوست، حماة مصانع الورق). ولقد استخدمت أساليب بسيطة وأخرى معقدة للتنبؤ بتيسر النتروجين، كما تم ترتيب حمات المجارى المختلفة طبقاً لقدرة معدنة النتروجين كما يلى:



شكل ٤ - ١٢ الفرق بين النتروجين الكلى المعتمد على عينات من سماد الدواجن (PM) مأخوذة من الحقل والكمية المقدرة التى يجب أن تضاف اعتماداً على تحليلات معملية لعينات مأخوذة من مخزن السماد. وهذه عبارة عن نتائج ١٧ دراسة حقلية. (Igo et al . 1991.)

الحماة المنشطة (٤٠٪) < الحماة الخام والأولية (٢٥٪) < المهضومة لا هوائياً (١٥٪) < المصنوعة سماداً عضوياً (٨٪).

وبالنسبة لبعض المخلفات، فإن كلاً من النتروجين الكلى، والنتروجين الأمونيومى يجب أن يشمل أى تقدير دقيق لكمية النتروجين الميسر والمسمى (PAN) Potentially Available N، كما هو موضح فى النموذج البسيط المطور لأسمدة الدواجن:

$$PAN = [K_m (N_o) + e_f (NH_4 - N)] \quad (4 - 17)$$

حيث:

K_m = نسبة النتروجين العضوى (N_o) المتمعدن ($K_m = ٤٠ - ٦٠٪$ ، تعتمد على الفصل من السنة الذى أضيف فيه السماد، مثل الشتاء، الربيع).

e_f = عامل يعكس كفاءة امتصاص نيتروجين الأمونيا من السماد العضوى
(٢٠ - ٨٠٪ ، تعتمد على الزمن الذى ينقضى حتى يتم دمج السماد العضوى مع التربة).

ومع ذلك فإن استخدام المخلفات العضوية كمصادر للنيتروجين، لا يمكن أن يعتمد على تيسر النيتروجين، فقط، فتوجد فيها مغذيات أخرى وعناصر غير ضرورية، وهذه تحدّد معدل إضافة المخلفات، وكذلك تحدّد أيضا صلاحية هذه المخلفات للاستخدامات النهائية المختلفة. وفى الوقت الحالى، هناك ثلاثة موضوعات رئيسية خاصة بتركيب المخلف، وهى تؤثر فى استخدام المخلفات العضوية فى كل من المدى القصير والمدى البعيد فى برامج إضافتها للأراضى:

- (١) تراكم الفوسفور إلى مستويات زائدة فى الأراضى المحسنة بالمخلف.
- (٢) احتمال تلوث الأراضى، والمحاصيل، والمياه بالعناصر الثقيلة.
- (٣) وجود واحتمال حدوث تأثيرات بيئية عكسية للملوثات العضوية الموجودة فى المخلفات العضوية.

وسوف نناقش هذه الموضوعات بتفصيل أكبر فى الفصل التاسع.

٤ - ٤ أسس الكفاءة فى إدارة النيتروجين :

يمكن تعريف الكفاءة بأنها القدرة على أداء عمل بدون إهدار للوقت، أو الجهد، أو الموارد. وتعتبر كفاءة النيتروجين فى نظام التربة - النبات، فى أبسط صورة، بأنها القدرة على إدارة الوقت، والجهد والموارد اللازمة للحصول على مستوى مقبول لنمو النبات (العمل المطلوب) مع الحد الأدنى فى فقد النيتروجين (المخلف). وتوجد نظم طبيعية قليلة كفاءتها ١٠٠٪؛ ولو أخذنا فى الاعتبار تعقيدات دورة نيتروجين التربة والقيود المفروضة بواسطة: الزمن، والعمالة، ونوع التربة، والممارسات الزراعية، والظروف البيئية، والموارد المتاحة، فلا تتدهش عندما تجد أن كفاءة امتصاص النيتروجين المضاف فى معظم النظم الزراعية نادرا ما تتعدى ٦٠٪ وفى الغالب تتراوح

بين ٣٠ ، ٥٠٪ تحت ظروف الإدارة العادية. ولسوء الحظ، ففي الأماكن التي فيها اهتمام بالنتروجين، فإن عدم كفاءة الامتصاص بواسطة أحد النظم البيئية (أرض - نبات) تؤدي غالباً إلى إعادة توزيع NO_3^- ، أو NH_3 ، أو N_2O في نظام بيئي آخر ، وهذا يمثل التأثير الثانى لكفاءة النتروجين، وهو القدرة على إحداث تأثيرات عكسية على مورد آخر فى البيئة. وبالاستناد إلى تعريف الكفاءة السابق، فإن الأسئلة الأساسية التى يجب أن توجه بالنسبة لإدارة النتروجين هي:

* كيف نُعرّف المستوى المقبول من نمو النبات، خاصة فى النظم غير الزراعية مثل المناطق الحضرية، والغابات، ومناطق استصلاح الأراضي؟

* كيف نُقرّر ماهى الدرجة التى يكون عندها المخلف النتروجينى غير مقبول، آخذين فى الاعتبار التداخلات أو التفاعلات المعقدة بين سياسة الإنتاج النباتى واقتصادياته؛ والتدوير غير المتوقع غالباً للنتروجين بين الأرض والهواء والماء ؛ واختلاف درجة حساسية النظم البيئية لتلوث النتروجين؟

* ربما يكون فى غاية الأهمية، كيف نُصمّم نظاماً أكثر كفاءة لاستخدام النتروجين، ونراقب هذه النظم بدرجة كافية لنعرف إذا كان يحدث لها تحسينات نتيجة الممارسات الماضية أم لا ؟

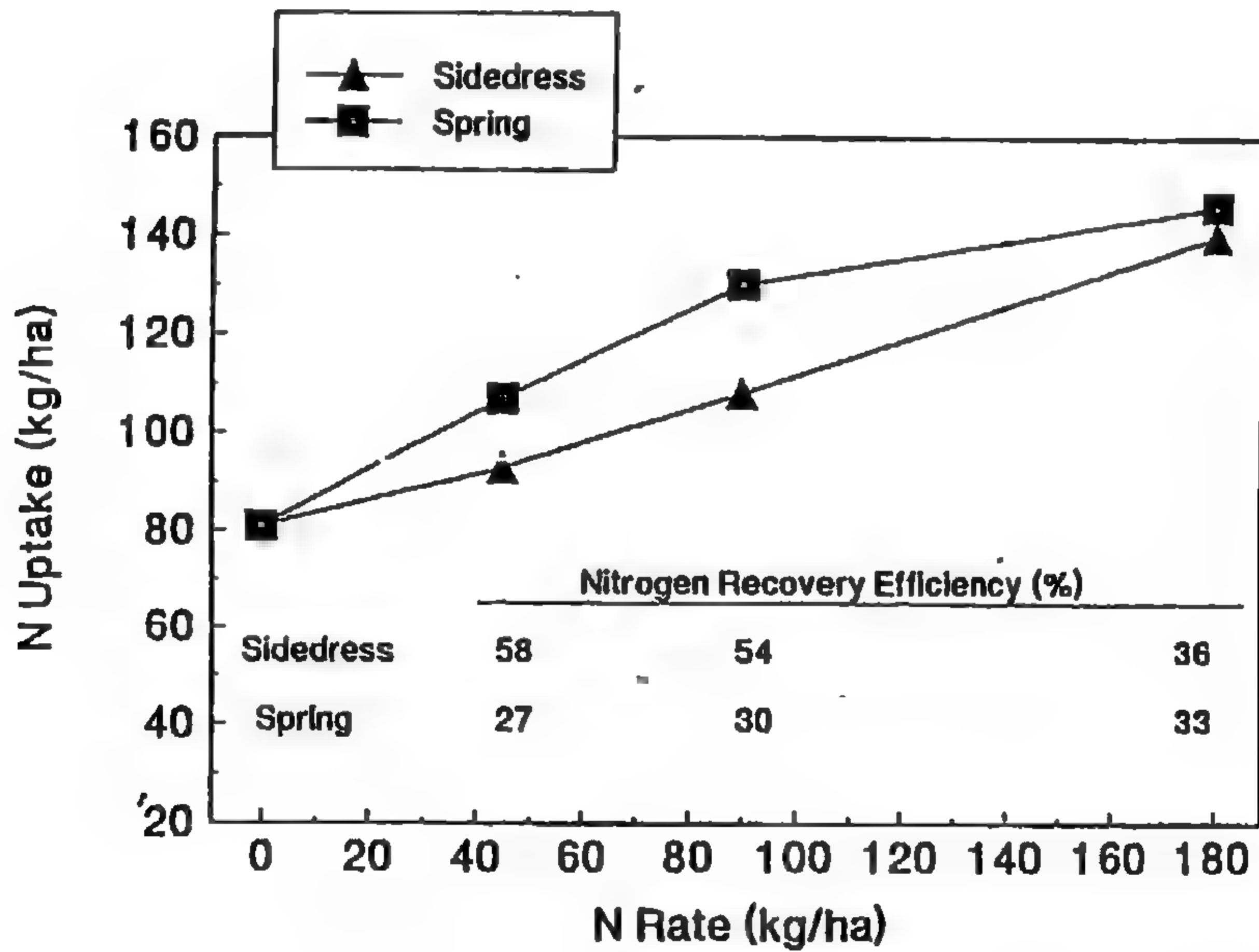
من النادر أن تجد إجابات شافية واضحة لمثل هذه الأسئلة ؛ وبدلاً من ذلك نستجيب لها عن طريق إعداد نظم المعلومات ونظم الإدارة التى تتطور باستمرار مع نمو قاعدة معلوماتنا. على أن الحدود المقبولة للإنتاج النباتى يجب أن تأخذ فى الاعتبار كلا من النقص فى الغذاء على مستوى العالم، وهوامش الربح لأفراد المزارعين. وفى كثير من المناطق الحضرية والمناطق التى تسود فيها الزراعة المعتمدة على الحيوان، يجب أيضاً أن تستجيب هذه المناطق للحاجات الملحة للتخلص من المخلفات التى تنتج من تركيز العناصر الغذائية فى المناطق التى ليس بها مساحات من الأراضي لاستخدام هذه المخلفات ؛ فلو أن هناك تربةً عوملت بالمخلفات لبضع سنوات وتحتاج إلى قدر بسيط من النتروجين لتنتج أعظم محصول يمكن الحصول عليه، مع توافر

العوامل الأخرى الضرورية (مثل ضوء الشمس، المطر الساقط)، فكيف نُوفِّق مبدأ نمو النبات المقبول مع الإنتاج المستمر للنتروجين من المخلف أو الحمأة؟ وبالمثل، قامت وكالات تنظيم البيئة بتحديد المستويات غير المقبولة للنتروجين في مياه الشرب والمياه السطحية، ومع ذلك، ففي بعض المناطق أوضحت البحوث أنه - بسبب طبيعة الأراضي، والمناخ، والقيود المفروضة بالتقنية الحالية - لا نستطيع إنتاج محاصيل حبوب بطريقة ربحية بدون مياه صرف تتعدى هذه المستويات القياسية. هل يمكن أن نُحسِّن الكفاءة بدرجة كافية عن طريق الإدارة أو عن طريق تشريع قوانين للتغلب على القيود الأساسية على امتصاص المحصول للنتروجين في هذه المناطق؟ وأكثر من هذا أهمية، كيف نستطيع أن نقدرَ عما إذا كانت ممارساتنا الجديدة - والتي ربما تكون مرتفعة التكلفة - تخفض بدرجة معنوية تلوث النتروجين للمياه الجوفية، والمياه السطحية، أو الهواء الجوي؟.

وتتطلب مثل هذه المشاكل المعقدة أساليب إدارة غاية في الانضباط. وفي الوقت الحاضر، تواجه وكالات البحوث والاستشارات والتنظيم البيئية المنتشرة في العالم تحدياً رئيسياً، هو الحاجة إلى تكامل خبرات الكثير من التخصصات، بغرض تطوير خطط الإدارة التي تستطيع أن تُعظِّم القيمة الاقتصادية للنتروجين الموجود في الأسمدة المعدنية والمخلفات العضوية، وفي نفس الوقت تقلل - إلى أدنى حد - التأثيرات البيئية العكسية. وبالأخذ في الاعتبار تعقيدات دورة نتروجين التربة وتفاعلاتها مع النظم البيئية الأخرى - فإن التخطيط المنظم بواسطة المهندسين الزراعيين، وعلماء الأراضي، وأخصائيي البساتين، التأجيم، كيمياء الغلاف الجوي، الري، الميكروبيولوجيا، اقتصاديات الموارد، والمهندسين، وآخرين غيرهم، أمر مطلوب لمواجهة هذا التحدي. وفي الأقسام التالية سوف نركز على عملية الكفاءة في إدارة النتروجين - بصفة أساسية للمحاصيل الزراعية - بالرغم من أننا سوف نستخدم بعض المراجع لأراضي الغابات، والعمليات البستانية، وزراعة الأعشاب، واستصلاح الأراضي وذلك لإيضاح الاختلافات الجوهرية في إدارة النتروجين اللازمة لهذه الحالات.

٤ - ٤ - ١ المبادئ العامة لكفاءة استخدام النتروجين :

تشمل أساليب تقدير كفاءة استخدام النتروجين بواسطة المحاصيل الزراعية مكونات زراعية وأخرى بيئية. نحن نسعى إلى تعظيم الكفاءة الزراعية عن طريق إنتاج أكبر للمحاصيل باستخدام نيتروجين أقل، وأيضا تعظيم الكفاءة البيئية عن طريق تقليل - إلى أدنى حد - هروب النيتروجين المضاف من التربة إلى نظام بيئي حساس للتلوث بالنتروجين. وبناء على ذلك، تعتبر آلية التقدير الكمي ضرورية إذا كنا نهدف تقييم نجاح برامج الإدارة المقترحة أو الموجودة. وإن كفاءة استخدام المحصول للنتروجين (NUE) من وجهة النظر الزراعية (إنتاج واقتصاد) يمكن التعبير عنها تقليديا بمصطلح



شكل ٤ - ١٢ امتصاص النيتروجين، وكفاءة امتصاص النيتروجين (NRE) لنبات الذرة. أضيف السماد النتروجيني دفعة واحدة أو على عدة دفعات باستخدام سماد «بادي»، والتسميد بجانب الخطوط. (Bock, 1984.)

(YE) «كفاءة المحصول»، أو بمصطلح «كفاءة امتصاص النتروجين» (NRE) وتعرف كالاتى:

$$\text{كفاءة المحصول } YE = \frac{\text{المحصول للأرض المسمدة} - \text{المحصول للأرض غير المسمدة}}{\text{النتروجين الكلى المضاف من السماد}} \dots (١٨ - ٤)$$

$$\text{كفاءة امتصاص النتروجين } NRE = \frac{\text{النتروجين الممتص بواسطة المحصول فى الأرض المسمدة} - \text{نظيره فى الأرض غير المسمدة}}{\text{النتروجين الكلى المضاف من السماد}} \dots (١٩ - ٤)$$

وتأخذ كفاءة المحصول فى اعتبارها - فقط - العلاقة بين التسميد النتروجينى وإنتاج المحصول، وهذا يعتبر تقييماً اقتصادياً، بينما تقدم كفاءة امتصاص النتروجين تقييماً للنتروجين المضاف الذى، بسبب أنه لم يمتص بواسطة المحصول، أعيد توزيعه إلى بعض المكونات الأخرى لدورة النتروجين. وعلى ذلك فإن كفاءة امتصاص النتروجين تراعى كلاً من الاعتبارات الاقتصادية والبيئية، وفى حالة ربطها بنتائج أخرى، مثل التغيرات فى تركيز النترات فى التربة فى منطقة جنود المحصول، يمكن أن تساعد فى تحديد مصير النتروجين غير الممتص. وهناك نقاط أساسية عديدة يجب أن تؤخذ فى الحسبان عند تقييم قيم كفاءة امتصاص النتروجين للمحاصيل المختلفة وممارسات الإدارة. أولاً، من المهم أن نتذكر أن النتروجين غير الممتص ليس بالضرورة يفقد من نظام التربة - النبات؛ فقد يُثبت مؤقتاً فى صورة نتروجين عضوى، أو يظل فى منطقة الجنود فى صورة كاتيون أمونيوم أو أنيون نترات، أو حتى يحدث له تدوير خلال مياه الري. وفى هذه الحالات، فإن النتروجين غير الممتص بمحصول ما قد يمكن أن يكشف عن طريق الامتصاص بمحصول تالى. ثانياً: كما هو موضح فى شكل ٤ - ١٣، فإن طبيعة المنحنى الخاص باستجابة المحصول (المحصول وامتصاص النتروجين) للنتروجين المضاف تعنى أن نتائج تقديرات NRE, YE سوف تختلف باختلاف مستوى النتروجين. وعموماً، حينما تقل NRE, YE ، ويزداد احتمال فقد النتروجين إلى الأنظمة البيئية مع زيادة معدل

النتروجين، فإن نسبة النتروجين المضاف التي لم تكتشف في المحصول تعتمد بكل تأكيد على كمية النتروجين المستخدم. وفي النهاية، نظراً لأن معظم الدراسات تجعل NRE يعتمد أساساً على الفرق في امتصاص النتروجين بين المحصول المسمد وغير المسمد (الكنترول)، فيجب أن نلاحظ أن إضافة النتروجين إلى محصول ماسوف يؤثر في امتصاص نتروجين التربة الأصلية، عن طريق كل من: تغيير تحولات نتروجين التربة، وتشجيع المجموع الجذري للمحصول على امتصاص النتروجين.

لقد تم تقدير تأثيرات وتفاعلات نوع التربة، وإدارة المحصول (الحرق، الري، الدورة الزراعية، استخدام السماد)، وطريقة وتوقيت إضافة النتروجين على NRE لكثير من مصادر النتروجين والمحاصيل الزراعية؛ وتوجد أمثلة لها معطاة في جدول ٤ - ٨. وتهدف هذه الدراسات عادة إلى معرفة قيمة فقد النتروجين في ظروف بيئية مختلفة وتحت ممارسات متغيرة من الإدارة. ولقد حاولت بعض البحوث السوفسطائية أن تقدر المصير النوعي للنتروجين المضاف، كما هو موضح في شكل ٤ - ١٤، معتمدة في الغالب على استخدام أسمدة مرقمة باستخدام N-15 أو بقايا محاصيل، وذلك لاقتفاء أثر حركة النتروجين.

إن الكفاءة البيئية لاستخدام النتروجين، والتي اتضح أهميتها، يصعب بدرجة كبيرة تقديرها تقديراً كمياً، وذلك بسبب الصعوبة في إقامة روابط مباشرة بين ممارسات الإدارة الزراعية والمصادر الملوثة. ولقد استخدمت معظم الدراسات طريقة NRE والافتراض العام الذي يعنى أن أى نظام إدارة له قيم NRE منخفضة (كميات مرتفعة من النتروجين غير الممتص)، إلى جانب قدرته على أن يؤثر في البيئة تأثيراً عكسياً، فإن هذا النظام يحتاج إلى تحسينات. وفي حالة تيسر قياس مباشر للتلوث بالنتروجين (مثل تركيزات عالية للنترات في الآبار) في منطقة يسودها النظام السابق، تزداد الضغوط كثيراً لتعديل أو تحسين هذا النظام. ويعتبر استخدام سماد الدواجن في إنتاج المحاصيل في شبه جزيرة دلمارفا (ديلاوير - ماريلاند - فيرجينيا) مثلاً لهذا السيناريو، حيث أوضحت نتائج فحص الآبار تلوثاً واسع الانتشار بالنترات لآبار المياه الجوفية الضحلة. وأراضى المنطقة خشنة القوام وجيدة الصرف، والمطر غزير (حوالي ١٠٠ سم في السنة)، ويتزايد استخدام الري العلوي. وتحتوى المنطقة أحد أهم

جدول ٤ - ٨ القيم الممثلة لكفاءة استخدام النتر للنتروجين.

معدلات الدراسة وكفاءة استخدام النتروجين (%)		معدل النتروجين (كجم / هكتار)
نترات أمونيوم	سماد الدواجن	ديلاوير
٦٢	٥٠	*٨٤ (١٠٧)**
٥٧	٣٣	١٦٨ (٢١٤)
٥٠	٣٤	٢٥٢ (٣٢١)
حراثة عادية	حد أدنى من الحراثة	ماريلاند
٦٧	٥٢	*٩٠
٥٢	٥٢	١٨٠
٣٨	٥٢	٢٧٠
نترات أمونيوم فقط	سماد ماشية اللبن + نترات أمونيوم	فيرمونت
—	٤١	صفر* (٢٤٣)**
٩٧	٣٥	٥٦ (٢٤٣)
٩٣	١٨	١١٢ (٢٤٣)
٦٨	١٦	١٦٨ (٢٤٣)
حماة المجارى - موقع (٢)	حماة المجارى - موقع (١)	ويسكونسن
٢١	١٧	** ٣٤٠
١٧	١٩	٦٨٠
١٠	١٢	١٣٦٠
٦	٩	٢٧٢٠

(*) معدلات نترات الأمونيوم المضافة.

(**) كمية النتروجين الكلى المضافة فى السماد الحيوانى أو الحماة.

ملاحظة: راجع تعريف كفاءة استخدام النتروجين فى القسم ٤ - ٤ - ١.

(Sims, 1987, Meisinger et al., 1985, Jakola, 1992, and Kelling et al., 1977.)

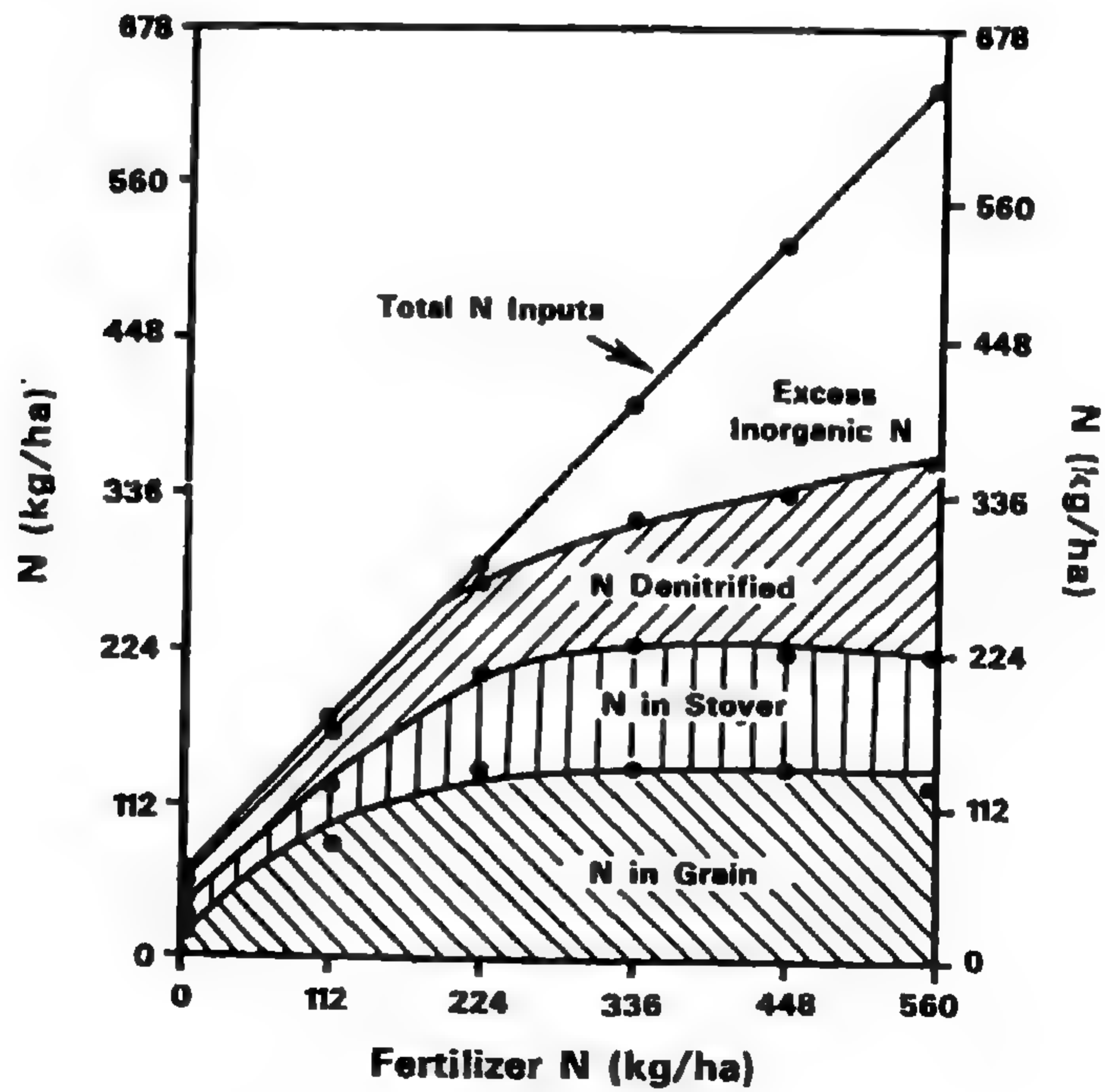
الصناعات المركزة للدواجن في العالم، وتسود فيها زراعة المحاصيل التي لها إحتياجات نتروجين عالية (مثل الذرة، القمح، الشعير). وأوضحت الدراسات العملية تحول نتروجين سماد الدواجن بسرعة إلى نترات في معظم الأراضي، وأوضحت دراسات الحقل على محصول الذرة المروي أن قيم NRE تراوحت من ٢٠ - ٥٠٪، كما أوضحت دراسات مراقبة الآبار في الحقول المسمدة أن تركيزات النترات تزيد عن المستويات المسموح بها لجودة مياه الري حالياً (٢٠ مليجرام نتروجين نتراتى فى اللتر). وبالرغم من أنه معروف أن المصادر الأخرى، وبصفة أساسية أسمدة النتروجين وخزانات المخلفات الأدمية فى الريف، ساهمت فى تلوث المياه الجوفية بالنترات، فإن قدرة الزراعة المعتمدة على الدواجن، فى المنطقة على تلوث المياه السطحية والجوفية أدت إلى عمل جهود مكثفة بواسطة الوكالات الاستشارية والتشريعية وذلك لى تحسّن إدارة نتروجين المحصول بصفة عامة، وإدارة السماد العضوى، بصفة خاصة.

وبالاختصار، يتطلب تحسين كفاءة إدارة النتروجين أسلوباً متكاملأ على مستوى الإقليم فى الغالب. ولقد جمعت الأساليب التقليدية التى تهدف إلى تغيير المسائل الأساسية لدورة النتروجين (جدول ٤ - ٩) بين: (١) تطوير وتطبيق البحوث التى تركز على أحسن ممارسات الإدارة (BMPs) لغرض صيانة الأرضى، (٢) إدارة العنصر الغذائى عن طريق الأبحاث طويلة المدى. وحديثاً، رفعت الضغوط البيئية المكثفة - لمقاومة التلوث بالنتروجين - شعار السيطرة الإجبارية والقانونية على استخدام السماد النتروجينى. فتقوم كثير من الولايات التى بها إمكانيات مركزة على الإنتاج الحيوانى بإعادة فحص مقياس الإدارة اللازم لتحسين كفاءة استخدام النتروجين، مع الاعتراف بأن الممارسات التى تجعل امتصاص النتروجين مثالياً على مستوى الحقول الفردية قد تكون قليلة الاستخدام إذا كانت العناصر الغذائية الناتجة فى المزرعة تزيد عن قدرة المزرعة لاستخدام هذه العناصر. وتقدم الأقسام التالية أمثلة محددة لتقنيات تستخدم لتحسين كفاءة استخدام النتروجين فى الزراعة وفى النظم غير الزراعية على مستوى الحقل، ونظراً لأن التلوث بالنتروجين يعكس محصلة التأثيرات الناتجة من حقول زراعية كثيرة وكذلك أيضاً تأثير المناطق الحضرية، وأماكن التخلص من المخلفات البلدية والصناعية، ومشاريع استصلاح الأرضى، ونظم خزانات الصرف

الصحي الريفية ، فإنه من المهم أن ندرس هذه الممارسات من وجهة نظر أوسع،
وندمجها في برامج ادارة النتروجين ذات المجال الأكبر.

٤ - ٤ - ٢ إدارة النتروجين في الزراعة :

تبدأ الأساليب المتبعة لإدارة النتروجين في نظم زراعة المحاصيل، عادة، بتقدير احتياجات المحصول من النتروجين عند تحقيق محصول واقعي. وتعتمد ممارسات إدارة السماد المعدني أو المخلف العضوي، المعتمدة على ظروف التربة المحلية والظروف المناخية، بعدئذ، على أن تخفض، إلى أدنى حد، الكميات الزائدة للنتروجين المضاف، وذلك لتفادي فقد النتروجين (عدم كفاءة النظام) والحصول على محصول مثالي، وترتبط



شكل ٤ - ١٤ تأثير معدل النتروجين على مصير النتروجين السمادي.

(Boswell et al., 1985.)

كمية النتروجين التكميلية اللازمة لمحصول ما بقدره النتروجين الزائد في التربة بواسطة المعادلة التالية، وعادة يشار إليها بـ «ميزانية نتروجين التربة»:

$$N_f = [N_{up}] - [N_{som} + N_{na}] + N_{ex} \quad (4 - 20)$$

حيث:

N_f = كمية النتروجين اللازم من السماء أو المخلف، ... الخ.

N_{up} = احتياجات المحصول من النتروجين لتحقيق المحصول المرغوب.

N_{som} = النتروجين المضاف من معدنة مادة، وبقايا المحاصيل، والإضافات السابقة للمخلفات العضوية، الخ.

N_{na} = الإضافات الطبيعية للنتروجين (المطر الساقط، مياه الري، الترسيب الجاف).

N_{ex} = النتروجين الزائد المفقود عن طريق عكس التأزت، والإزالة، والغسيل، أو التطاير؛ وهو يختلف تبعاً لكفاءة نظام التربة - النبات.

وتخفيض N_{ex} ، إلى أدنى حد، بناء على ذلك، يتطلب منا أن لا نبالغ في تقدير قدرة المحصول النباتي لأرض معينة، وبالتالي، لا نبالغ في تقدير كل من N_f ، N_{up} أى احتياجات المحصول من النتروجين وكمية السماد اللازم لتحقيق محصول واقعي مرغوب. ويجب علينا أن لا نبخس قدرة الأرض أو المصادر الطبيعية الأخرى للنتروجين (N_{som} ، N_{na}) في توفير نسبة معنوية من N_{up} . ولأسوء الحظ، توجد أمثلة كثيرة يحدث فيها النوعان من الأخطاء، وكثيراً ما تؤدي إلى تلوث المياه الجوفية بالنترات. وتعتبر مسألة الإضافة الزائدة من النتروجين معقدة بسبب التقديرات الزائدة في التفاؤل للمحصول المتوقع، وأيضاً بسبب أن طبيعة الأسمدة المعدنية النتروجينية رخيصة الثمن نسبياً؛ وعندما يتضمن الأمر الأسمدة العضوية والحمات، نجد هناك ضغوطاً مستمرة للتخلص من هذه المخلفات العضوية، بصرف النظر عن احتياجات المحاصيل الحقيقية من النتروجين. ويوضح شكل ٤ - ١٥ العلاقة بين المحصول المستهدف غير الواقعي وحدث تلوث للمياه الجوفية بالنترات، وذلك في عملية إنتاج الذرة المروية في نبراسكا. كما يوضح جدول ٤ - ١٠ حدوث عدم اتزان خطير في ميزانية النتروجين على مستوى الإقليم بسبب الزراعة المعتمدة على صناعة الدواجن في ديلاوير.

جدول ٤ - ٩ ملخص أساليب أحسن إدارة BMPs لكفاءة استخدام التتروجين.

أسلوب الإدارة	أمثلة وتعليقات
<p>إدارة التربة، والنبات، والمياه:</p> <p>- صيانة التربة والمياه.</p> <p>- تعاقب الزراعة ومحاصيل التغطية.</p> <p>- إدارة مستجمع الأمطار.</p> <p>- إدارة العنصر الغذائي:</p> <p>- اختبار التربة والنبات والمخلف.</p>	<p>الحرق الكنتوري، المصاطب، الحرق البسيط، الري المحسن؛ وجميعها تعمل على تقليل الانجراف، وسريان مياه الأمطار، وغسيل التتروجين.</p> <p>تعاقب (تناوب) محاصيل بقولية وغير بقولية لتقليل الاحتياج للأسمدة النتروجينية؛ فيمكن للمحاصيل البقولية ومحاصيل الأغطية الشتوية أن تزيل (إلى درجة كبيرة) التتروجين المتبقى في التربة؛ كما تشمل الفائدة العائدة من دورات المحاصيل الثبات الاقتصادي، ومقاومة الانجراف، وتقليل ضغط الآفات والأمراض.</p> <p>صيانة الأراضي والمياه وإدارة العنصر الغذائي مدعمة ببرامج تعليمية واسعة الانتشار، المساهمة في التكاليف، إرشادات وتشريعات عن الري واستخدام السماد.</p> <p>التطورات الجديدة في اختبارات التربة والنبات (مثل: اختبار قبل الزراعة للنترات في التربة PSNT، مقياس الكلوروفيل في الورقة) تعطي فرصة لزيادة كفاءة استخدام الأسمدة التجارية والأسمدة الحيوانية.</p>

- توقيت وطريقة الإضافة.

تجزئة أو تقسيم النتروجين المضاف،
التسميد مع مياه الري، استخدام أسمدة
بطيئة التيسر، استخدام الحقن والوضع
العميق لأسمدة النتروجين المتطايرة؛ ويؤدي
جميع مسابغ إلى تحسين التزامن (توفيق
التوقيت) بين تيسر النتروجين وامتصاصه
بواسطة النبات.

- تقنية السماد والمخلف.

تقوم عملية التآزوت ومثبطات إنزيم اليوريا
بتحسين امتصاص النتروجين السمادى؛ كما
أن تحويل المخلف إلى سماد عضوى صناعى
(كمبوست)، والتصبيع يؤدي إلى تثبيت
النتروجين فى المخلفات العضوية، وينتج مواداً
يمكن تناولها وإضافتها بكفاءة أعلى.

التغيرات الأساسية فى الزراعة:
- الإجازة القانونية.

القوانين، وليست الإرشادات، الكمية
الإجبارية للنتروجين وتوقيت إضافته من
الأسمدة التجارية أو المخلفات العضوية؛ كما
تتطلب ميزانية العنصر - على مستوى
المزرعة - من المزارعين أن يجلبوا
استخدامات بديلة للأسمدة الحيوانية الزائدة،
وإن معظم الأساليب فى الوقت الحاضر
اختيارية، ولكن الإجازة القانونية المؤثرة فى
إدارة العنصر الغذائى (وليست الإرشادية)
قد نُفِذت فى ولايات عديدة.

- التقدم فى علم الوراثة.

التغيرات الوراثية من أجل ادخال القدرة
الحيوية لتثبيت النتروجين فى المحاصيل غير
البقولية (الذرة، القمح)؛ زيادة قدرة
المحاصيل البقولية على تثبيت النتروجين؛ كما

- نظم الزراعة.

أن التقدم فى العلاج الوراثى للنباتات جعل هذه الأهداف البحثية لتثبيت النتروجين ذات جدوى عملية.

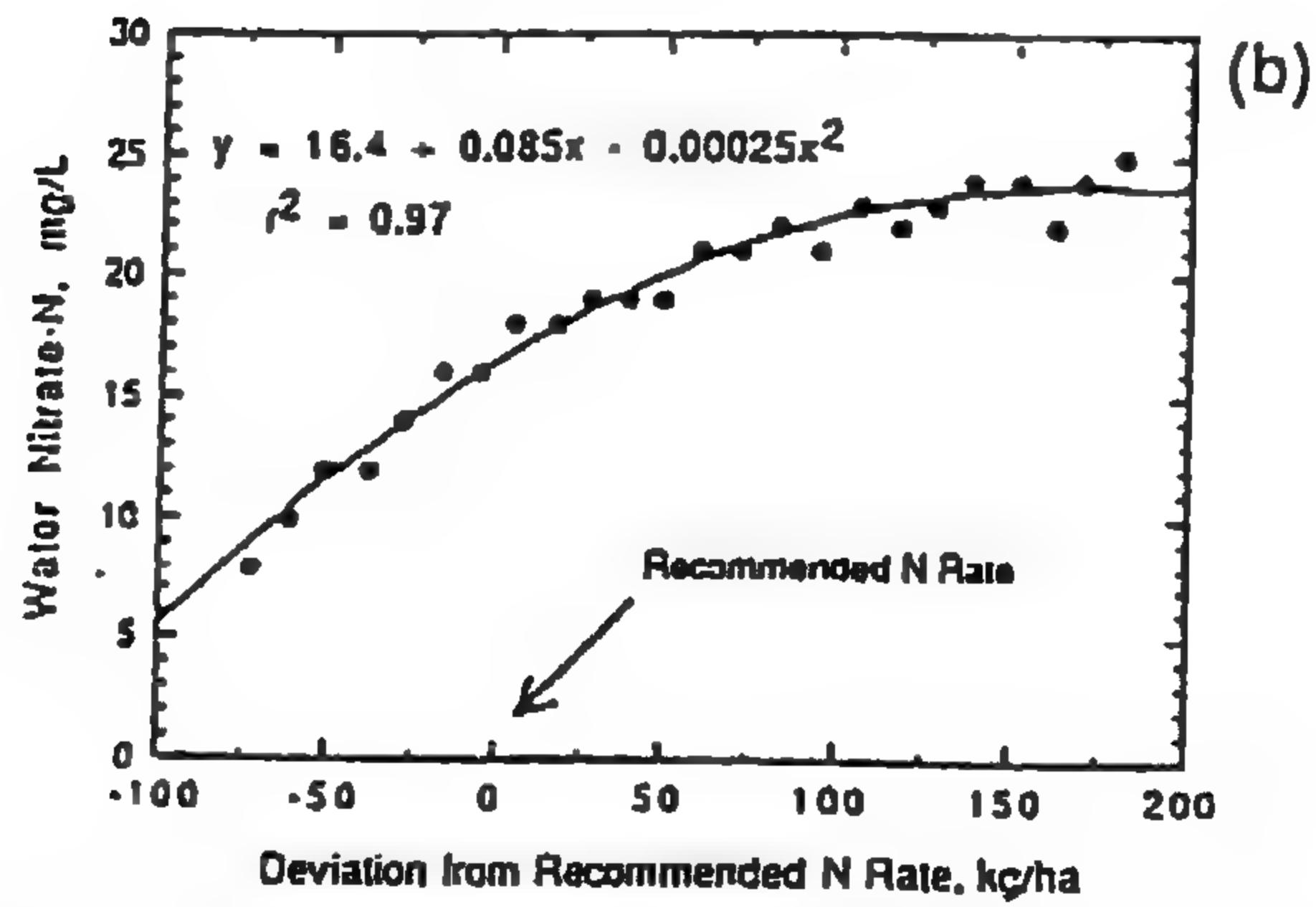
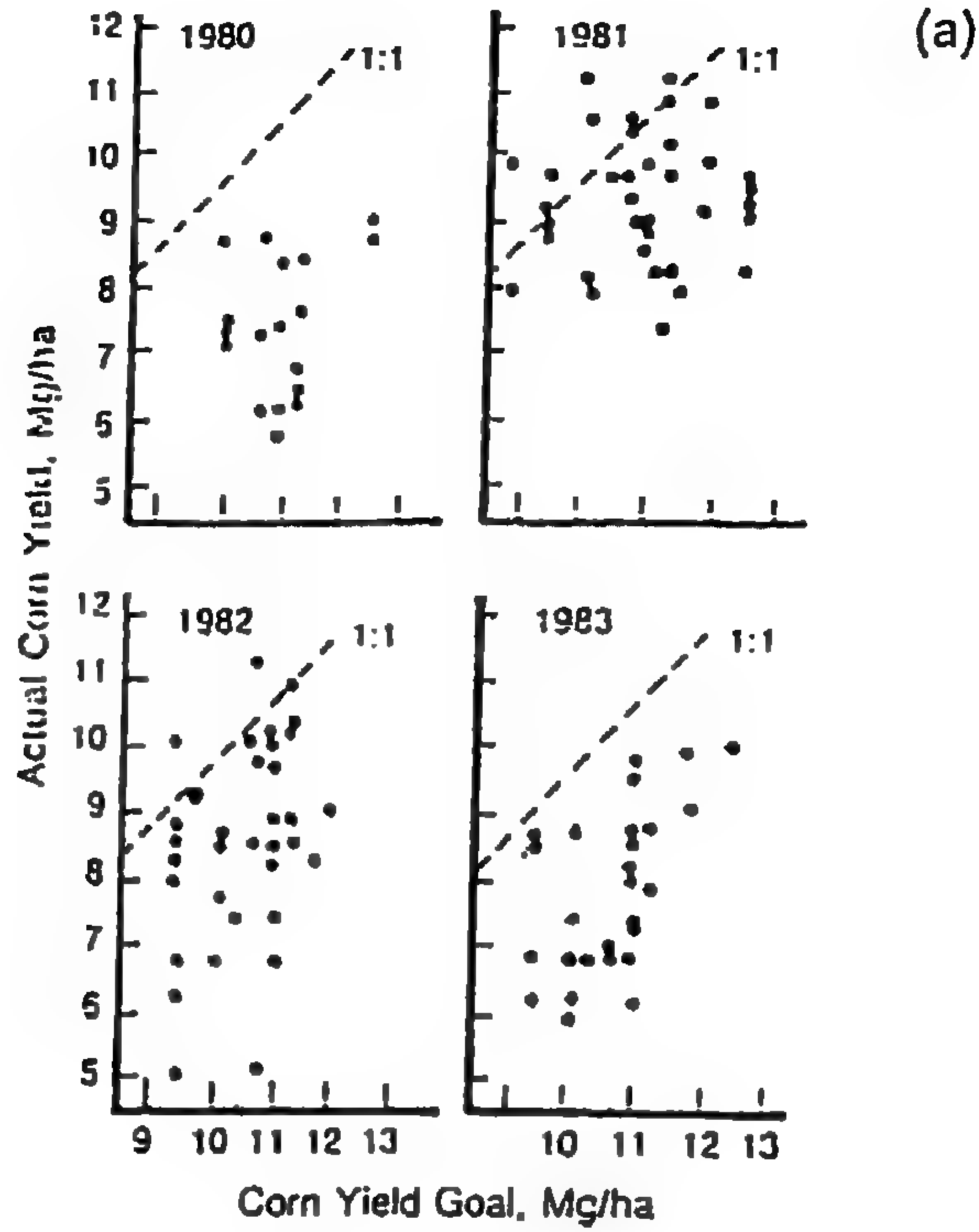
زيادة استخدام (زراعة) النباتات البقولية، تقليل إنتاج محاصيل الحبوب؛ زيادة زراعة البقوليات يؤدي إلى تخفيض استخدام السماد النتروجيني، إلا أنه على الأرجح يؤثر فى اقتصاديات الإنتاج؛ العادات الغذائية المستهلكين؛ الضغوط للتحويل إلى زراعة مستدامة بمدخلات قليلة مع اعتماد أقل على الأسمدة التجارية والمبيدات؛ وتحتاج الزراعة ذات المدخلات القليلة إلى عمالة مكثفة، فى حين أن تيسر عمالة المزرعة تعتبر غير كافية فى مجتمعات حضرية كثيرة؛ فقد الأراضى الزراعية بسبب التحضر أو التصحر؛ وحيث أن إنتاج الغذاء يعتمد بدرجة عالية على كمية الأراضى الصالحة للزراعة، فإن الفقد الكبير فى المساحات المزروعة يؤدي إلى زيادة الضغوط لتحقيق إنتاج مرتفع من المحاصيل من مساحة الأراضى المتبقية، وهذا يتطلب مدخلات أكثر، ويزداد احتمال التلوث غير المعروف مصدره، وكثير من المناطق المتحضرة ومناطق الزراعة التى بها إنتاج حيوانى مكثف لا يتوافر فيها مساحات كافية من الأراضى لاستخدام المخلفات العضوية التى تنتجها هذه المناطق.

(Keeney, 1982.)

وبالإضافة إلى التقديرات المبالغ فيها لـ N_f ، فتوجد مشكلة أخرى خطيرة لكفاءة استخدام النتروجين وهي الفشل في تطوير اختبارات موثوق فيها لتقدير نتروجين التربة الميسر، والنتروجين المضاف في المخلفات العضوية حتى يتمكن المزارعون أن يضبطوا بدقة معدلات السماد النتروجيني لكي تكمل ماتمه التربة ومحسنات التربة الأخرى. ولا يعزى النقص في طرق اختبارات النتروجين إلى التقصير في الجهود البحثية، ومع ذلك، فقد حدث تقدم كبير في مجال اختبارات النتروجين في التربة والنبات في الآونة الأخيرة.

إن أى اختبار دقيق للتربة لعنصر النتروجين يظل هدفا بعيدا ومراوغا لعلماء الأراضى. كما أن طبيعة بورة النتروجين المتغيرة والمعقدة وحساسيتها الزائدة للعوامل المناخية غير المتوقعة، مثل درجة الحرارة وسقوط الأمطار، جعلت الأمر صعبا في استخدام مستخلصات كيميائية لتقدير تيسر النتروجين قبل الزراعة، كما هو الحال، عادة، مع العناصر الغذائية الأخرى (مثل الفوسفور، البوتاسيوم، الكالسيوم، المغنسيوم، المنجنيز، النحاس، الزنك). كما توجد مشاكل مشابهة تمنع استجابة اختبارات التربة السريعة للنتروجين الميسر في المخلفات العضوية. وللأختبارات المتبقية للنتروجين التراتى في التربة تاريخ من النجاح في أراضى المناطق الجافة، ولكن ليس لها نفس النجاح في أراضى المناطق الرطبة. وفي عام ١٩٨٤ حدث تقدم كبير في اختبارات نتروجين التربة، أدى إلى حدوث تحسن ملحوظ في كفاءة استخدام النتروجين لبعض المحاصيل الزراعية. إن اختبار قبل الزراعة للنترات في التربة والمسمى (PSNT)، تم ابتكاره وتقويمه، في البداية، بواسطة F.R. Magdoff بجامعة فرمونت، وذلك ليحل مشكلة التسميد الزائد للقمح بالنتروجين في شمال شرق الولايات المتحدة، ويصفه خاصة في الحقول التى لها تاريخ في استخدام الأسمدة العضوية والبقوليات. ولاختبار PSNT أربعة مبادئ أساسية، يمكن تلخيصها كما يلي:

(١) كل النتروجين السمدى (المعدنى) للذرة يجب أن يضاف بالسرسبة بجانب عيدان الذرة عندما يبدأ النبات الفترة التى يحدث فيها الامتصاص الأعظم للنتروجين، فيما عدا كمية صغيرة تضاف عند الزراعة بالسرسبة في هيئة خطوط ؛



شكل ٤ - ١٥ (أ) مقارنة بين محول النترية المستهدف بواسطة المزارعين والمحصول الفعلي الذي تم الحصول عليه. يوضح الخط المنقطع تناسباً بنسبة ١:١ بين المحصول المستهدف والمحصول الفعلي. (ب) تأثير الانحراف عن معدل النتروجين الموصى به على تركيزات النترات في المياه الجوفية في نبراسكا. (Hergert, 1987, and Schepers et al. 1991.)

جدول ٤ - ١٠ ميزانية النتروجين للزراعة المعتمدة على الدواجن فى ولاية ديلاوير.

المحصول	المساحة (هكتار)	احتياج N السنوى (كجم / محصول)	مصدر النتروجين	كمية النتروجين السنوية الميسرة (كجم / مصدر)
الذرة	٦٩٦.٠	٩٨.٠.٠.٠.٠.٠	سماد الدواجن	٧٨٥.٠.٠.٠.٠.٠
فول الصويا	٨.٦.٠	صفر	أسمدة تجارية	١٩٣٥.٠.٠.٠.٠.٠
القمح	٢٤٣.٠	٢٢.٠.٠.٠.٠.٠	مخلفات أخرى	غير مؤثّق
الشعير	١١.٠.٠	١.٠.٠.٠.٠.٠.٠		
غيرها	٣٢٤.٠	٣٦.٠.٠.٠.٠.٠.٠		
المجموع	١٧٩.٠	١٦٦.٠.٠.٠.٠.٠.٠	المجموع	٢٧٢.٠.٠.٠.٠.٠.٠

لاحظ أن ميزان النتروجين على مستوى الولاية بزيادة قدرها ١.٦.٠.٠.٠.٠.٠ كجم/ ولاية/ السنة أو حوالى ٥٠ كجم / هكتار / السنة.

(٢) تعتبر ظروف التربة والظروف المناخية قبل وقت أخذ العينات ضمن العوامل المؤثرة فى تيسر النتروجين من التربة، ومن بقايا المحاصيل، ومن الإضافات السابقة للمخلفات العضوية ؛

(٣) يمكن أن يحدث تغير فى حالة العينة السريعة المأخوذة للاختبار المعملى فى مدة أقل من ١٤ يوم.

(٤) لا يأخذ المزارعون، عادة، عينات تربة على أبعاد أكثر من ٣٠ سم. ولقد تم تقويم أرقام اختبار PSNT فى أكثر من ٢٠٠ دراسة حقلية فى شمال شرق ووسط غرب الولايات المتحدة، وأثبت نجاحه فى تحديد الأراضى التى بها وفرة من النتروجين (شكل ٤ - ١٦). ولقد أمكن التغلب على بعض الصعوبات المنطقية المرتبطة بالحاجة إلى تحليل سريع للعينة عن طريق تطوير أطقم «الاختبارات السريعة»

والإلكترونيات الحساسة للنترات التي يمكن استخدامها في الحقل. وأمور أخرى مشجعة هي نتائج دراسة حديثة باستخدام مقياس كلوروفيل الورقة والتي أوضحت أن هذا القياس الغاية في السرعة ، والذي يقيس اخضرار الورقة في الحقل كان دقيقاً مثل PSNT في تحديد المواقع التي بها وفرة النتروجين (شكل ٤ - ١٦ ب). وتوجد وسيلة أخرى جديدة لتقدير كفاية النتروجين لنبات الذرة وهي اختبار النترات في ساق النبات (شكل ٤ - ١٦ ج). ويستخدم هذا الاختبار التشريحي تركيز النترات في الجزء السفلي من ساق نبات الذرة عند مرحلة النضج لتحديد الحقول التي أخذت كميات زائدة من النتروجين من الأسمدة المعدنية أو الأسمدة العضوية.

تعتبر تضمينات اختبارات النتروجين هذه مباشرة، ولكنها ليست سهلة. وبالنسبة لمعظم المزارعين يجب أن تؤخذ عينة تربة لتقدير PSNT، وإذا كان من الضروري، فيمكن أن يضاف سماد إضافي عن طريق السرسبية بجانب النباتات. ومع ذلك، فلقد أوضحت الدراسات على الأراضي المحسنة دائماً بالمخلفات الحيوانية أنها لا تحتاج بتاتاً أو تحتاج قدرأ بسيطاً من النتروجين المضاف بجانب النبات Sidedress، حتى في حالة عدم إضافة سماد عضوي في السنة الجارية. وهذا موضح في شكل (٤ - ١٧) حيث يحتوى على مقارنة المعدلات الاقتصادية المثلى للنتروجين (EON) في ١١ حقلاً تستخدم أو لا تستخدم سماداً عضوياً على مدى تاريخي طويل.

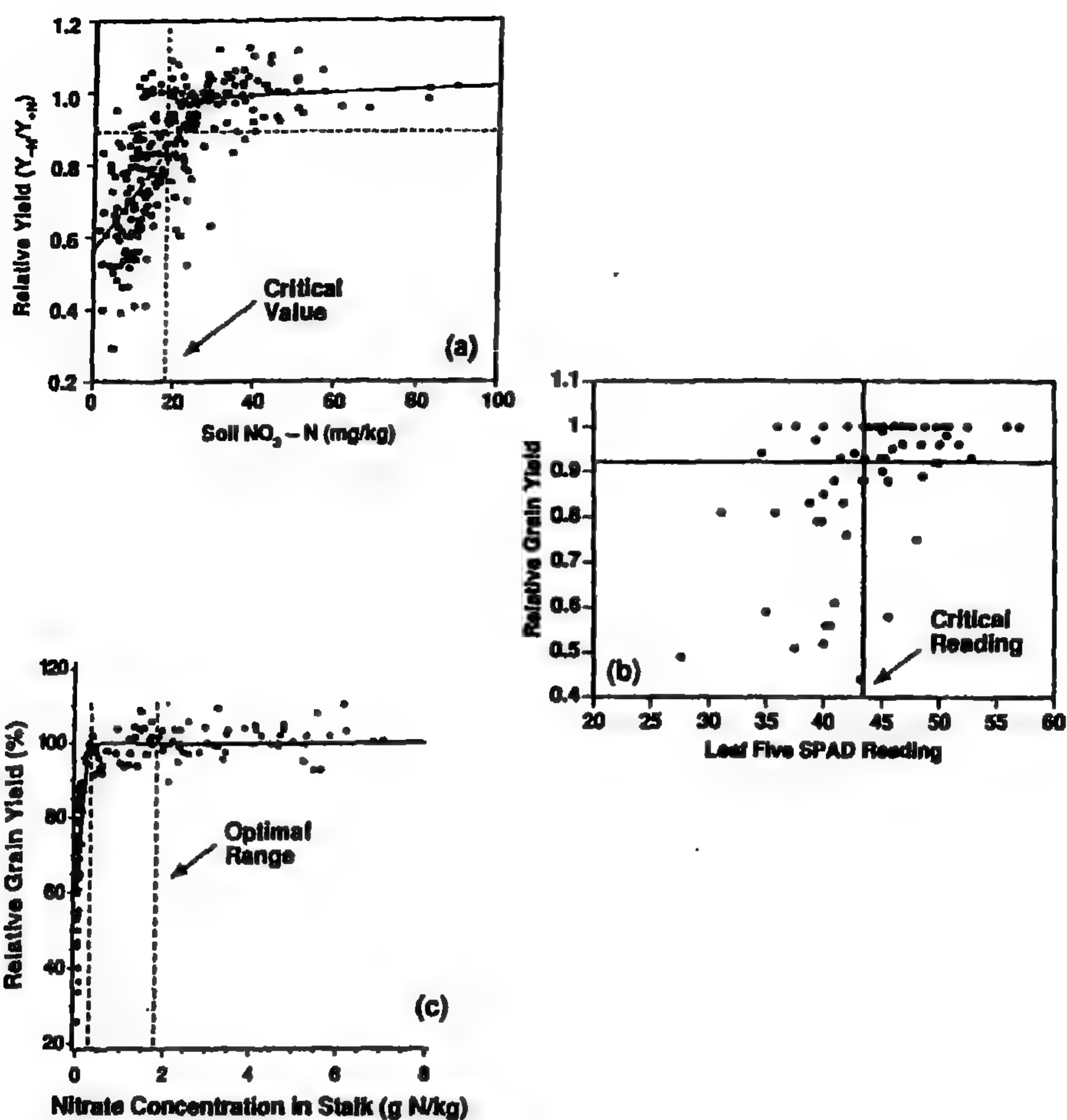
وتعتبر المعدلات الاقتصادية المثلى مشابهة لكفاءة المحصول، ويمكن تعريفها بأنها معدل النتروجين عند أعظم عائد اقتصادي من استثمار نتروجين السماد، معتمداً على تكاليف السماد المفترضة وأسعار المحصول. ولقد كان متوسط المعدلات الاقتصادية المثلى للحقول المسمدة عضوياً ٣٤ في مقابل ١٢٨ كجم/ هكتار في المواقع غير المسمدة. وإن أكبر صعوبة لأسلوب PSNT - بخلاف المشاكل المنطقية المصاحبة للاختبارات التحليلية السريعة - هي وجود نسبة عالية للأراضي التي اتضح أنها تحتاج كمية أقل - أو لا تحتاج بالمرّة - من السماد العضوي أو الحماة عما تنتجه المزرعة أو البلدية. وببساطة يتضح أن هذه الاختبارات أوضحت - خاصة في الزراعة المعتمدة على الحيوان - إنتاج نتروجين أكثر من المطلوب للعمليات الزراعية، أخذة في

الاعتبار الأرض الميسرة واقتصاديات معالجة وإضافة المخلف. وهذا يوضح، مرة أخرى، مدى الحاجة إلى إدارة المخلف العضوى بمستوى أكبر، على مستوى الولاية أو المنطقة، مركزة على إعادة توزيع نتروجين المخلف إلى المناطق التى تعاني نقصاً فى النتروجين.

وبمجرد تقدير الحاجة إلى النتروجين الإضافى أو تقدير معدل النتروجين الإضافى، إما من خلال اختبارات التربة والنبات أو من المعرفة العامة للنظام الزراعى، فإن الاعتبارات التالية هى: مصدر النتروجين المستخدم، وطريقة وتوقيت إضافة النتروجين. ويتطلب تعظيم كفاءة النتروجين أن يضاف أحسن مصدر للنتروجين فى الوقت المناسب كلما أمكن ذلك، وفى الغالب يتم ذلك عن طريق الإضافات المتعددة، وكما قلنا فى قسم (٤ - ٣)، فإن الاعتبار الأساسى فى اختيار المصدر النتروجينى فى الغالب اقتصادى، ويبدأ بالتكلفة لكل وحدة نتروجين. كما تشمل العوامل الأخرى التى تؤثر فى التكاليف الكلية للسماذ النتروجينى وفرة المادة السماذية (تكاليف النقل)، والتخزين والمعالجة (تكاليف الجهاز وتكاليف الإضافة)، والمتطلبات السماذية النوعية للمحصول (مثل الحاجة إلى سماذ مخلوط)، وأى خواص لمادة السماذ التى قد تؤثر فى درجة كفاءته، وبالتالي تؤثر فى نظام الزراعة المستخدم. وفى مناطق الزراعة المعتمدة على الحيوان حيث تنتج أسمدة عضوية بصفة دائمة، تظهر تكاليف أخرى مثل الحاجة إلى تحليل السماذ العضوى، وتخزينه، ومعالجته (مثل البحيرات الضحلة، الاسطبلات، إمكانيات تحويل المخلفات إلى سماذ عضوى صناعى «كمبوست»، وكذلك الحاجة إلى جهاز متخصص لإضافة السماذ.

إن اختيار المصدر النتروجينى من النادر أن يفصل عن اختيار طريقة إضافة النتروجين. وتشمل الطرق النموذجية المستخدمة لإضافة الأسمدة النتروجينية: النثر، السرسبة فى خطوط، والحقن، والإضافة مع مياه الرى.

النثر: يشير إلى الإضافات المتجانسة لمادة السماذ على سطح التربة، فى صورة حبيبات صلبة أو أقراص أو الرش فى صورة سائل. وقد يظل السماذ المنتثر بعدئذ على السطح (فى حالة: علف الماشية، المحاصيل غير الحقلية، الأعشاب) أو يدمج مع

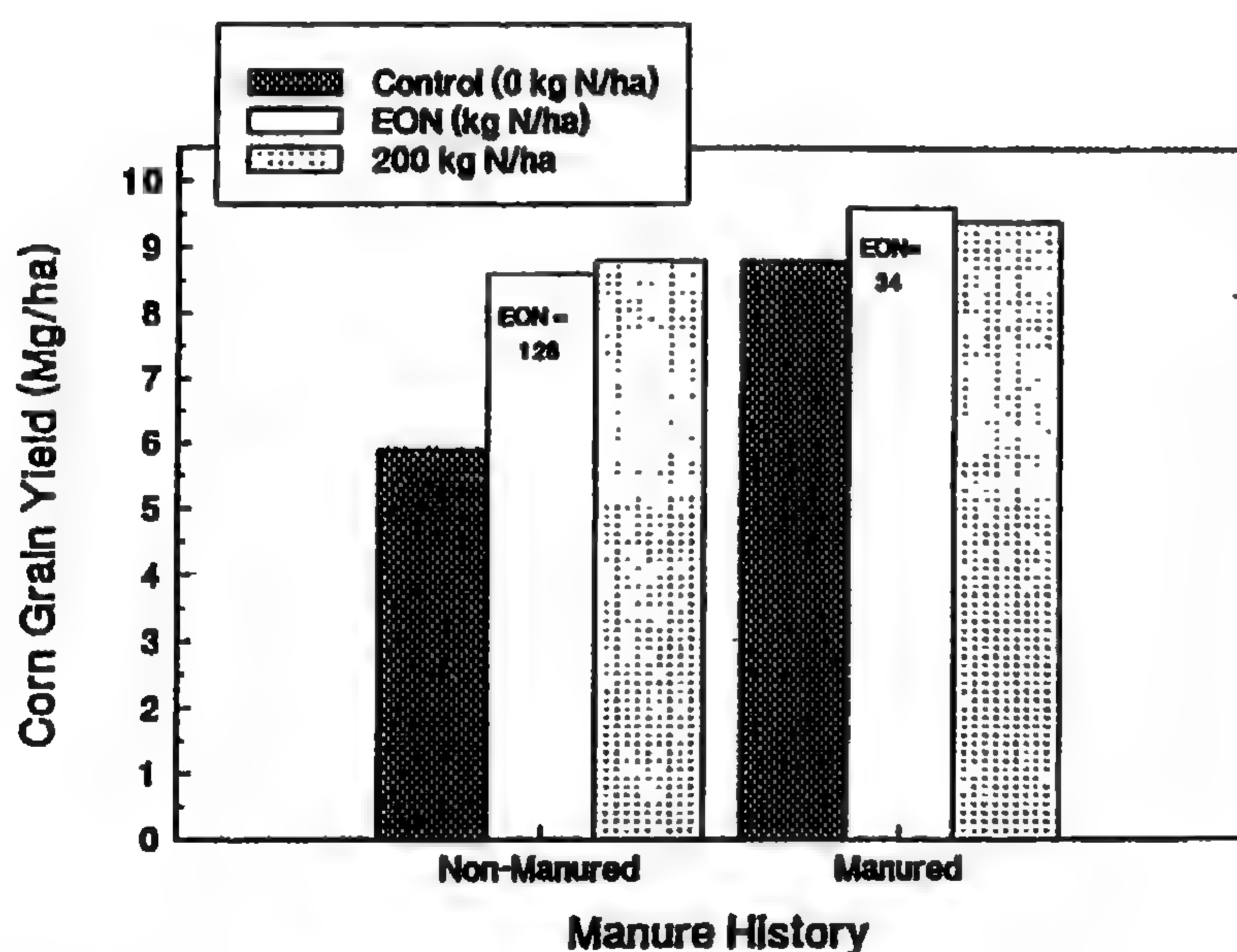


شكل ٤ - ١٦ توضيح استخدام طرق اختبارات التربة والنبات للتعرف على الأراضى الكافية في النتروجين. (a) المحصول النسبي للذرة (= المحصول في المعاملة غير المسمدة مقسوماً على المحصول في المعاملة المسمدة) مع نترات التربة (صفر - ٣٠ سم) في الربيع الأخير. (b) المحصول النسبي للذرة مع قياس الكلوروفيل في الأوراق في الربيع الأخير. وتشير SPAD إلى نوع المقياس المستخدم في القراءة. (c) المحصول النسبي للذرة مع تركيز النترات في الجزء السفلي للساق عند مرحلة النضج.

(Magdoff et al. 1990, Piekielek and Fox, 1992, and Blinford et al. 1990.)

التربة عن طريق عملية خدمة مثل الحرث أو التقليب. والإضافات بطريقة النثر التي تتم لحصول نامى يطلق عليها «إضافة سطحية» أو «إضافة من أعلى».

السرسبة فى خطوط: هى وضع السماد النتروجينى فى خطوط أو شريط، ويمكن تنفيذه عند الزراعة؛ والمحاصيل التي تزرع على خطوط، وعندما تتم عملية التسميد فى خطوط بعد ظهور النباتات يشار إليها «إضافة جانبية». ويستخدم عادة فى سرسبة أسمدة النتروجين فى خطوط عند الزراعة أسمدة مركبة من الفوسفور والنتروجين N-P كأسمدة «بائنة»، مع وضع السماد 5 سم تحت، 5 سم إلى جانب البذرة، وذلك لتفادى أضرار الملح المباشرة للبادرات الصغيرة. وتعتبر إضافة السماد فى خطوط فى أماكن الزراعة تزويداً استهلالياً بعنصرى النتروجين والفوسفور فى منطقة سهلة المنال بواسطة المجموع الجذرى الحديث، وهى مفيدة، بصفة خاصة، فى



شكل ٤ - ١٧ استجابة محصول الذرة لمعدلات النتروجين المثالية اقتصادياً (EON) فى حقول تتلقى أولاً أسمدة حيوانية. الأرقام التى فى الأعمدة عبارة عن متوسط المحصول (كجم / هكتار) لجميع المواقع غير المسمدة بأسمدة حيوانية عند المعدل المثالى اقتصادياً. (Roth and Fox, 1990.)

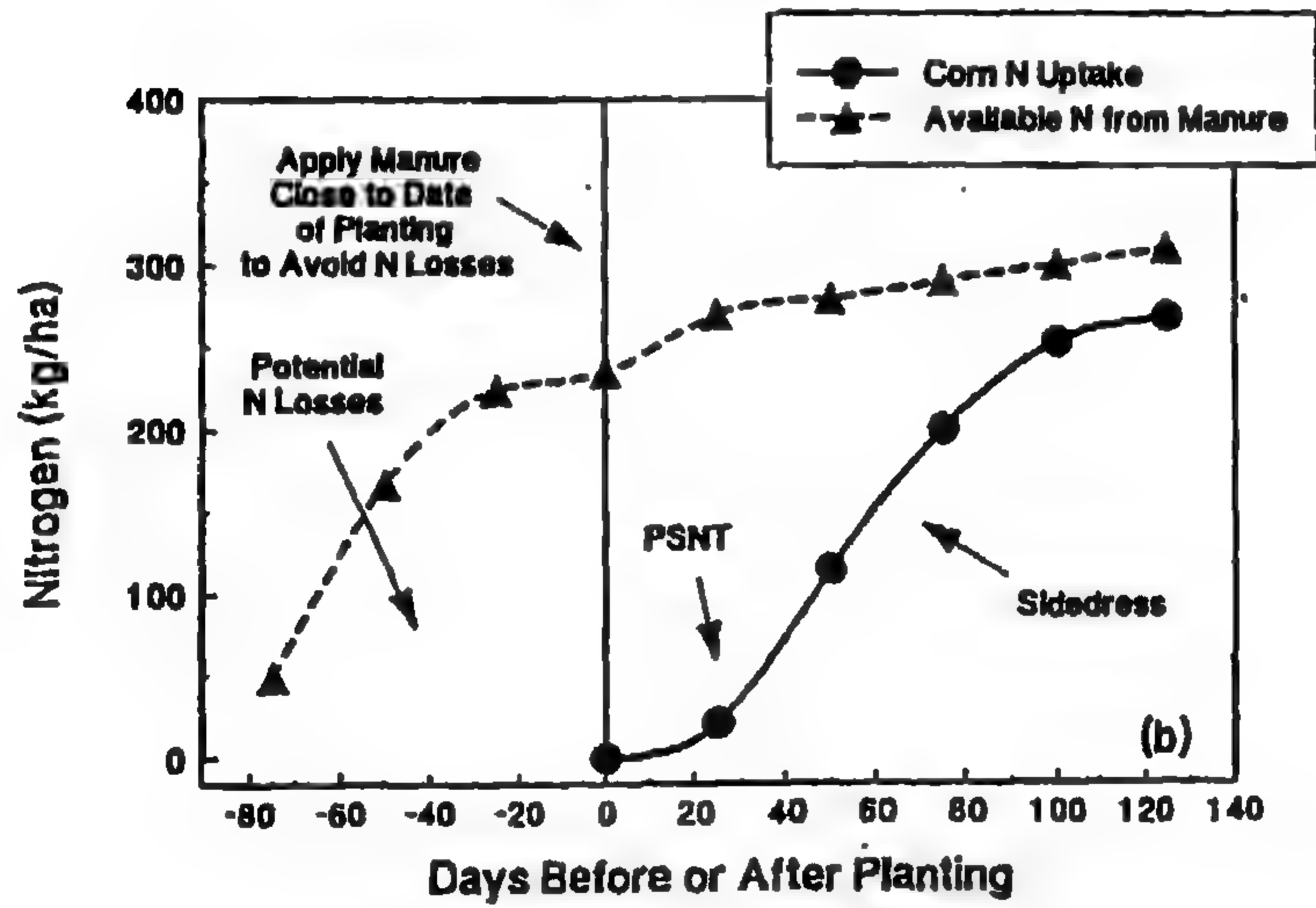
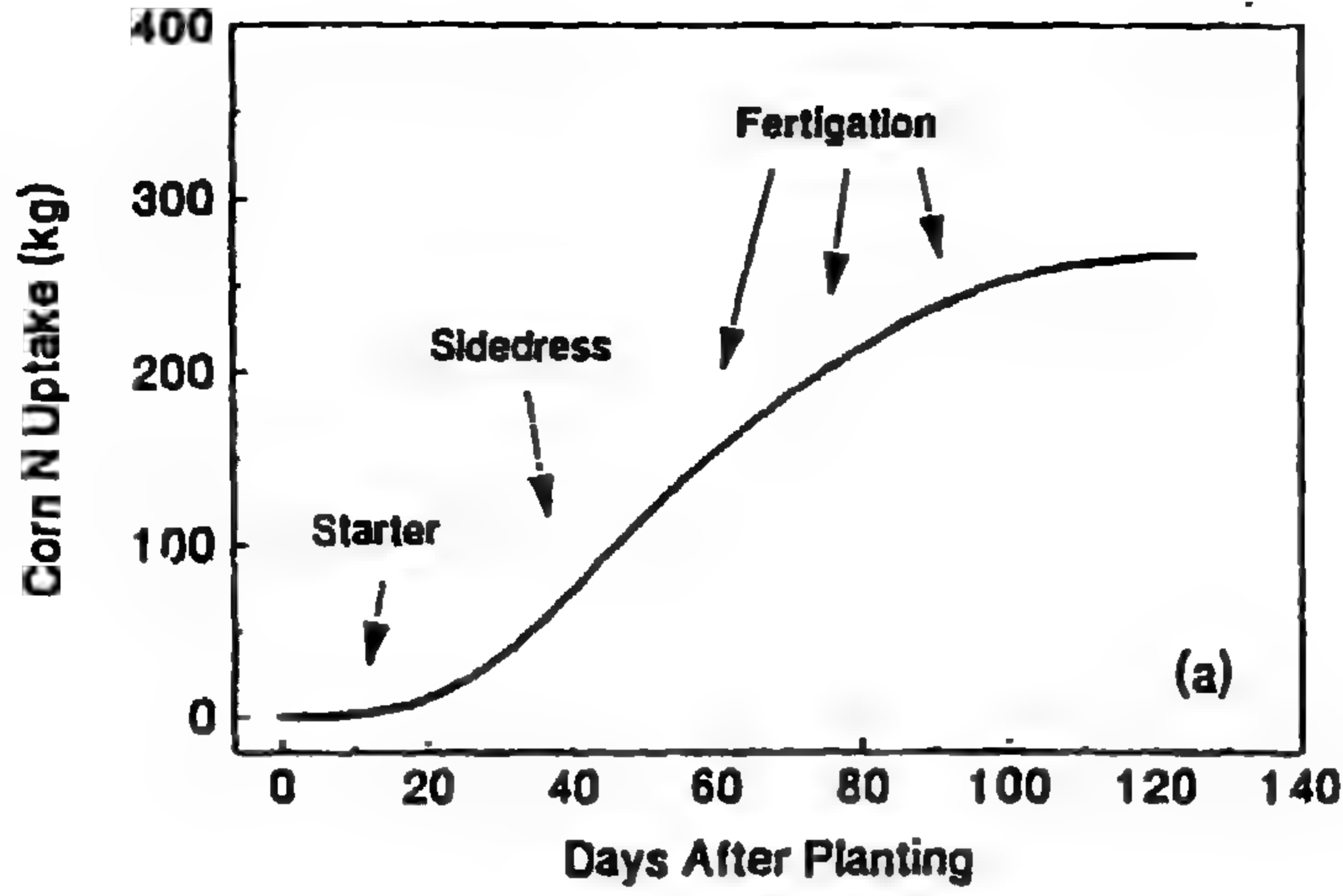
الأراضي التي تزدع بدون حرث، حيث أن درجة حرارة التربة المنخفضة تؤخر نمو الجذور وامتصاص المغذيات. ويمكن تنفيذ إضافات الأسمدة النتروجينية بجانب النباتات عن طريق: الحقن، أو الخطوط السطحية، أو الرش، أو التنقيط.

الحقن: هو وضع السماد في التربة من خلال جهاز إضافة متخصص يوضع تحت السطح، ويشيع استخدامه للأمونيا اللامائية والأسمدة السائلة مثل محاليل اليوريا - أمونيوم - نترات (UAN). وينفذ حقن السماد عادة على أعماق أبعد من أماكن وضعه في خطوط، وبخاصة مع الأمونيا اللامائية NH_3 ، التي تتحول إلى غاز بعد الحقن، ويمكن أن تفقد من التربة عن طريق التطاير إذا لم توضع بطريقة صحيحة.

إضافة السماد مع مياه الري: هو إضافة النتروجين الذائب في مياه الري، وهو يختلف عن التسميد الورقي حيث ترش الأسمدة مباشرة على أوراق النباتات، ويوجد عدد محدود فقط من أسمدة النتروجين مناسبة للإضافة مع مياه الري، وذلك راجع إلى درجة النوبان والنقاوة العالية المطلوبة لكي تحقق نوباناً كاملاً، وتتحاشى انسداد جهاز الإضافة، وتفضل عادة محاليل اليوريا - أمونيوم - نترات عن الأمونيا اللامائية والأمونيا المائية التي لها قدرة تطاير أعلى بدرجة كبيرة. وإضافة السماد مع مياه الري أكثر استخداماً مع نظم الري بالرش العلوية أو نظم الري بالتنقيط.

وبصفة أولية، تعتمد الطريقة المختارة لإضافة مصدر النتروجين العضوى على خواصه الطبيعية. فتضاف المخلفات العضوية الصلبة عادة بواسطة آلات فارشة تسمى فارشات السماد الدوارة، بالرغم من أن التقدم الحديث في عمليات تصنيع المخلف (مثل عملية التكوير أو التصبيغ) أدى إلى مرونة ميسرة في أجهزة إضافة المخلف. وبالنسبة للمخلفات العضوية السائلة، فهي إما تحقن أو تضاف من خلال نظم مياه الري، كما يجرى دمج المخلفات العضوية في الغالب لتلافى جريان المواد الصلبة الغنية بالعناصر الغذائية أو المواد العضوية الذائبة مع مياه الأمطار إلى الأنهار والبحيرات.

إن أحد الجوانب الحرجة الأكثر أهمية لكفاءة استخدام النتروجين هو توقيت إضافة النتروجين بالنسبة لامتصاصه بواسطة النبات. ومعظم النباتات، وخصوصاً



شكل ٤ - ١٨ (a) توضيح عام يمثل نموذج امتصاص النتروجين بواسطة نبات الذرة؛ وهو يوضح الارتباط الكفء لتقنيات إضافة السماد النتروجيني.

(b) نموذج امتصاص النتروجين بواسطة نبات الذرة المرتبط مع المعدل النموذجي لانطلاق النتروجين من سماد الدواجن، وهو يوضح احتمال فقد النتروجين من إضافات السماد الحيواني في أوقات غير مناسبة، وتوقيت اختبار التربة في التترات قبل الزراعة، مقارنة بإضافة النتروجين في خطوط بجانب عيدان الذرة.

النباتات الحولية، لها نماذج معروفة جيداً لتراكم النتروجين داخلها، كما هو موضح لنبات الذرة في شكل ٤ - ١٨. وتصبح بذلك تقنيات إضافة السماد الأكثر كفاءة هي التي تُوصل النتروجين التكميلي في توقيت متزامن مع امتصاص النتروجين، وخاصة في الأراضي الحساسة بدرجة عالية لفقد النتروجين. وفيما يلي ترتيب عام للكفاءة النسبية لمعظم تقنيات إضافة النتروجين:

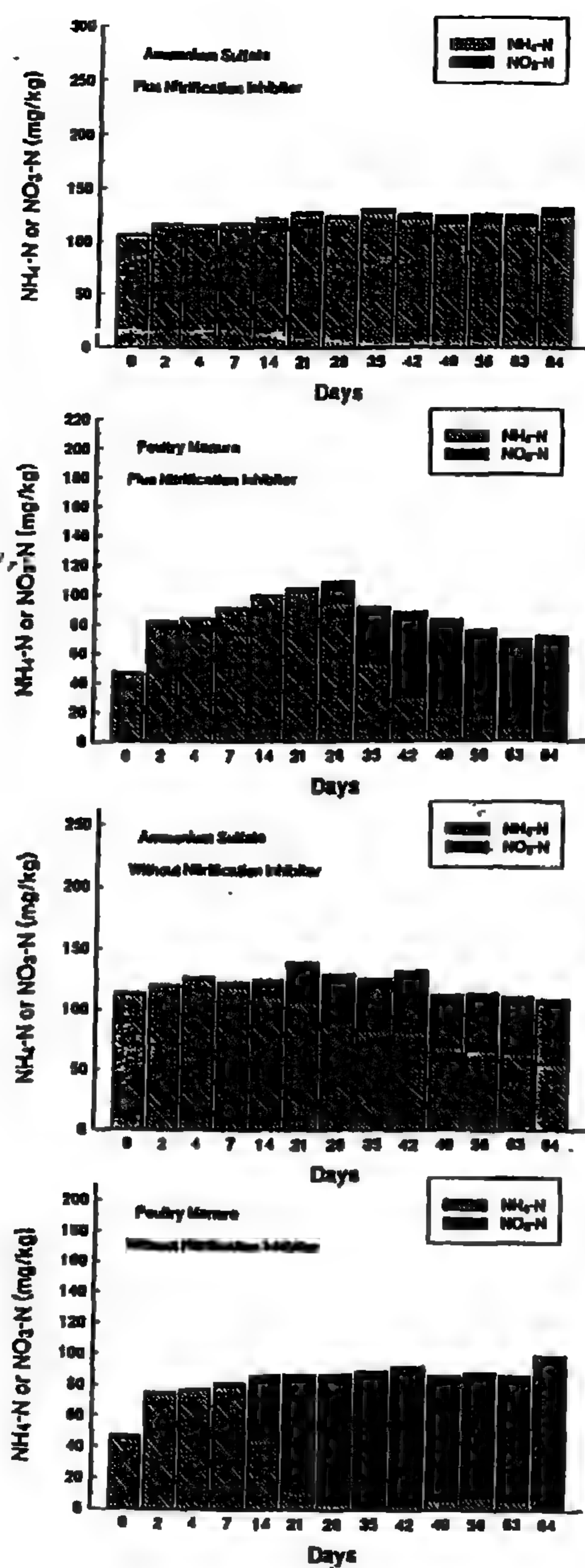
الإضافة مع مياه الري > السرسبة في خطوط جانبية > النثر السطحي.

وتنتج أعظم كفاءة لإضافة النتروجين عندما يتم توحيد تقنيات عديدة للإضافة. وبالنسبة لنبات الذرة المروي يجب أن يأخذ كمية بسيطة من نتروجين السماد المعدني، تضاف عند الزراعة عن طريق السرسبة في خطوط جانبية، وهي تمتد النبات بحوالي ٣٠ - ٤٠٪ من احتياجاته من النتروجين في الحال وقبل الفترة التي يكون فيها امتصاص النتروجين أسرع ما يمكن، ويضاف باقى احتياج المحصول من النتروجين عن طريق تقنيات إضافة السماد مع مياه الري (شكل ٤ - ١٨ أ). وفي الحالة المشابهة لذلك التي تستخدم مخلفات عضوية، فهذه يجب أن تتضمن معدل إضافة منخفضاً من السماد العضوى (معدل نتروجين أقل من المثالى) في فترة زمنية قصيرة قبل الزراعة، يليها استخدام PSNT لتحديد احتياجات النتروجين الذى يضاف بالسرسبة في خطوط جانبية (شكل ٤ - ١٨ ب). ومع ذلك، فهناك حالات كثيرة، حيث توجد قيود خطيرة بالنسبة للتوقيت المناسب لإضافة مصدر النتروجين. ولعل أحد أهم هذه القيود هو كمية الوقت اللازم للإضافات المتأخرة أو الإضافات المتعددة للنتروجين خلال جزء موسم نمو النبات عندما يجب تأدية عمليات أخرى كثيرة في الوقت المناسب، بما في ذلك الحرث، والزراعة، وإضافة مبيد الحشائش، وحصاد المحاصيل الأخرى، وتركيب نظم الري، وكمثال يفضل كثير من المزارعين إضافة النتروجين من السماد المعدني أو العضوى خلال شهور سقوط المطر أو خلال شهور الشتاء، وذلك بسبب توفر كمية أكبر من الوقت الحر المتاح خلال هذا الجزء من السنة. ومع ذلك، فإن الكفاءة المنخفضة

لامتصاص النتروجين خلال هذه الفترات، بسبب الفقد بالغسيل وبعملية عكس التأزت، الذى يحدث قبل نمو النباتات فى فصلى الربيع والصيف - يجعل هذا أمراً غير مرغوب فيه، سواءً من الناحية الاقتصادية أو البيئية، كما يفضل إضافة الأسمدة العضوية، غالباً، خلال موسم سقوط المطر أو موسم الشتاء، وذلك لأن طبيعة التربة الجافة أو المجمدة فى هذا الوقت يمكن أن تقلل كمية التضغوط والإزالة التى تسببها مرور المعدات الثقيلة فى الحقول مقارنة بظروف الربيع الرطبة.

إن السبب الأساسى الذى يجعل الإضافات المسبقة بوقت بعيد قبل امتصاص النبات للنتروجين أمراً غير مرغوب - هو المعدل السريع للتأزت فى معظم الأراضى. وبالتالي فعادة تتحول الأمونيوم المضافة فى معظم الأسمدة المعدنية أو الأسمدة الحيوانية فى التربة إلى نترات خلال فترة قصيرة من الزمن، وهذه تخضع للفقد بالغسيل أو بعكس التأزت قبل بداية امتصاص النبات. ولعل أحد الوسائل لتحسين كفاءة استخدام النتروجين هو تأخير عملية التأزت باستخدام مثبطات كيميائية تضاف مع الأسمدة النتروجينية أو المخلفات العضوية، كما هو موضح فى شكل (٤ - ١٩). ولقد وجد أن بعض الكيماويات مثل النترايدين والثيوكبريتات تثبط نشاط كائنات التأزت، وتبقى على النتروجين فى صورة أقل قابلية للغسيل، أى فى صورة أمونيوم، وتزيد امتصاص النبات للنتروجين. كما أن مصادر النتروجين بطيئة التحلل تحقق نفس الغرض عن طريق التغليف الطبيعى للأمونيوم داخل راتنج، أو شمع، أو التغليف بالكبريت، وهذا يؤخر نوبان حيوية السماد وبالتالي يؤخر عملية التأزت.

ويمكن تحسين كفاءة استخدام النتروجين بوسائل أخرى أيضاً، بالرغم من أن المعالجة الميكانيكية العملية لآليات فقد النتروجين يمكن أن تكون صعبة ومكلفة، وقد تزيد من أحد صور الفقد بينما تقلل صورة أخرى. وإن استخدام ممارسات الحرث بغرض صيانة الأراضى ينتظر أن تقلل فقد النتروجين بالإزالة والسريان مع ماء المطر، كما أن تقليل حركة ماء المطر السارى فى الحقل، تؤدى إلى زيادة الرشح، وبالتالي يزداد غسيل النترات وكذا عملية عكس التأزت. وأيضاً تُقلل الإضافات السطحية للمخلفات من حدوث تلامس بين التربة والمخلف وتسرع من جفاف المخلف، مشجعة



شكل ٤ - ١٩ تأثير مثبت التآز (الثيوكبريتات) على معدل تآزت سماد نتروجيني غير عضوي (كبريتات الأمونيوم) وسماد نتروجيني عضوي (سماد البواجن) (Sallade and Sims, 1992.)

تطابير الأمونيا ولكنها تقلل في نفس الوقت معدل معدنة النتروجين. كما تشمل أيضا بعض ممارسات الصيانة التي لها القدرة على تخفيض فقد النتروجين ممارسات رى أكثر كفاءة (مثل الري بالتنقيط عكس الغمر)، واستخدام الزراعة المركبة أو محاصيل أغطية في الشتاء لكي تحبس النتروجين المتبقى من المخلفات، ونظم صرف مراقبة، وأراضى رطبة صناعية لتشجع عملية عكس التآزت في المناطق التي على حدود الحقل (حاشية الحقل).

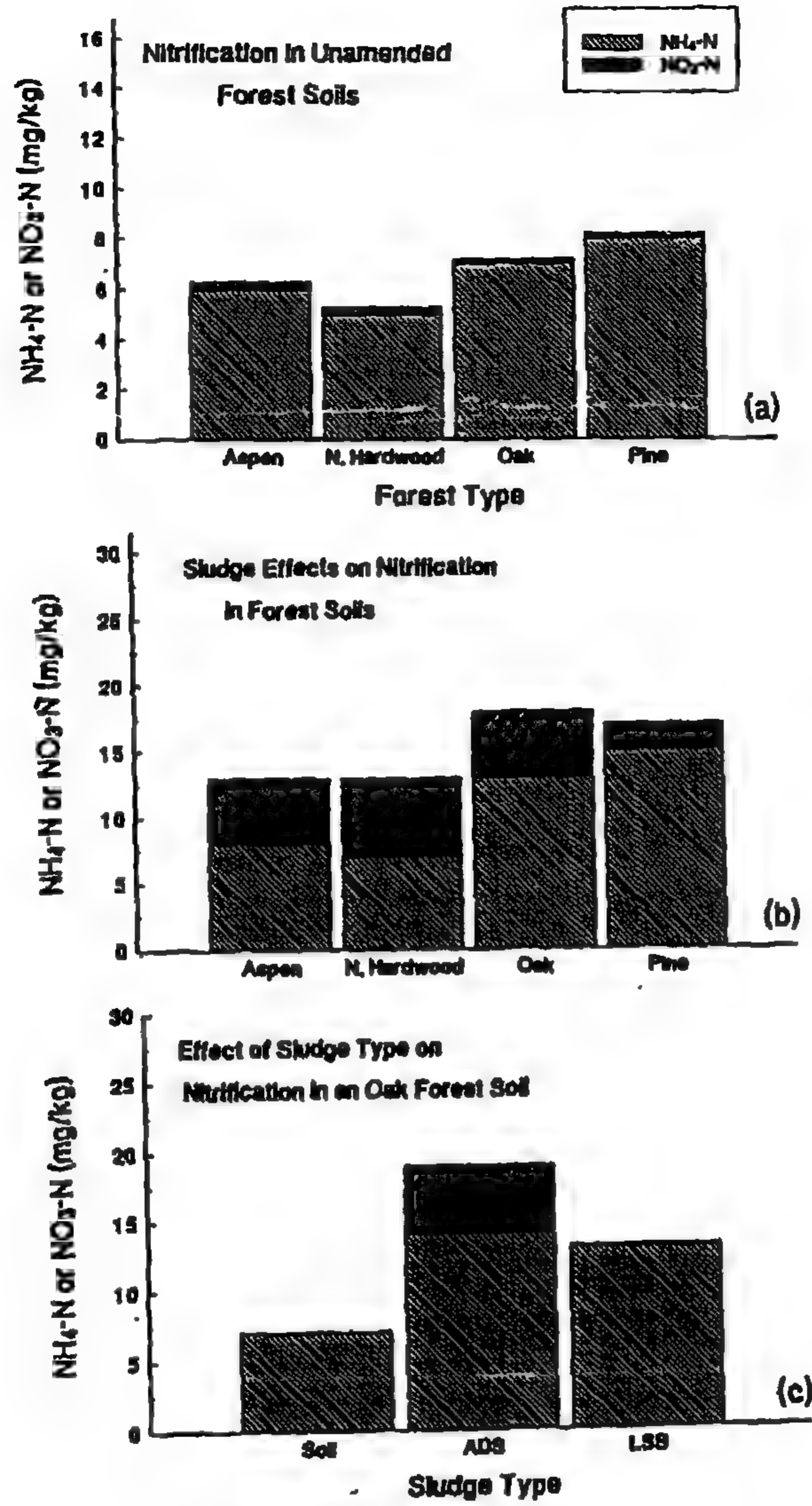
٤ - ٤ - ٣ إدارة النتروجين في مواقع لا تهدف إلى الإنتاج الزراعي:

تستخدم أسمدة النتروجين المعدنية ومصادر النتروجين العضوية بدرجة كبيرة في مناطق تختلف كثيرا عن مناطق الزراعة الإنتاجية، ومن أمثلة هذه المناطق: استصلاح الأراضي، وإنشاء الطرق، والبستنة الحضرية والتجارية، والغابات. وكل منطقة من هذه الاستخدامات النهائية لها ظروفها الإيجابية الخاصة بها بالنسبة لكفاءة استخدام النتروجين. فبعض هذه الظروف له علاقة بالاختلافات في طبيعة دورة النتروجين في الأراضي المفككة أو المحسنة بدرجة مكثفة، والبعض الآخر له علاقة بالاقتصاد، والسياسة، ومنطقية إدارة التربة - النبات. وعادة تهدف مشاريع الاستصلاح والإنشاء إلى تغطية سطح الأرض بنباتات معمرة قليلة الصيانة، وتحتاج فقط في البداية إلى استخدام أسمدة نتروجينية معدنية، أو في الغالب تحتاج إلى إضافات صغيرة وغير متكررة. وتعتبر مناطق البستنة مثل الصويات، والمشاتل، والحشائش والأعشاب، ونباتات الزينة، في طبيعتها، مكثفة بدرجة كبيرة، ويسبب العائد النقدي العالي لنباتات هذه المناطق، فإنها تعتمد بغزارة على الأسمدة المعدنية، وفي الغالب، مع قليل من الاهتمام بكفاءة استخدام النتروجين الاقتصادية والبيئية. ويشيع تسميد الغابات بالنتروجين في صناعة الغابات التجارية، ويمثل هذا حالة متوسطة بين مشاريع الاستصلاح/ الإنشاء ذات العائد المنخفض ومشاريع البستنة التجارية ذات العائد المرتفع.

ويشيع استخدام مصادر النتروجين العضوية فى كل من هذه المواقع غير الزراعية وذلك لعدة أسباب. فالمادة العضوية التى تنتج من الحمأة، والكمبوست، والأسمدة الحيوانية بين الحين والآخر، غالباً، مطلوبة فى مشاريع الاستصلاح وذلك لتحسين الخواص الطبيعية المتدهورة للأراضى المفككة بدرجة كبيرة، وتستخدم الصوبات أو ساط نمو «بدون تربة» غنية فى المادة العضوية، وفى الغالب يتم فيها توفير الضوء. وأوساط النمو هذه جيدة التهوية، وذات سعة عالية للاحتفاظ بالرطوبة. ويعتبر كل من هاتين الحالتين استخداماً نهائياً جيداً للمخلفات العضوية البلدية، مثل كمبوست الحمأة، وذلك لأن فيهما يسود استخدام نباتات ليست ضمن السلسلة الغذائية، وعلى ذلك يقل الاهتمام بتراكم المكونات السامة للمخلف (مثل العناصر الثقيلة).

إن إدارة التربة، والسماذ، والنتروجين العضوى فى مواقع استصلاح الأراضى والغابات تبدأ بفهم الاختلافات التى يمكن أن تحدث فى تدوير النتروجين مقارنة بالأراضى المزروعة. ويمكن لهذه الاختلافات أن تكون أساسية أو عملية فى طبيعتها. فعلى المستوى الأساسى، فإن الكائنات الدقيقة المسؤولة عن تحولات النتروجين الهامة مثل المعدنة، التآزت، وعكس التآزت أقل كفاءة، وغير نشطة، أو غير موجودة فى الأراضى ذات الخواص الطبيعية أو الكيماوية المتطرفة (مثل مناطق المناجم عالية الحموضة أو غابات الصنوبر). ومن وجهة النظر العملية، فإن تحسين هذه الأراضى باستخدام السماذ المعدنى، أو النتروجين العضوى، أو حتى جرعات صغيرة منقطعة من النتروجين مثل المطر الحامضى يمكن أن يغير نشاط ميكروبات التربة هذه، ويغير طبيعة تدوير النتروجين (وهذا موضح فى شكل ٤ - ٢٠ بالنسبة للتآزت فى الغابات المحسنة بالحمأة، وفى جدول ٤ - ١١ بالنسبة للتآزت وعكس التآزت فى مناطق المناجم الحامضية).

ومن وجهة النظر البستانية، يوجد اهتمام متزايد للأبعاد البيئية لإدارة النتروجين فى الصوب، والمشاتل، ومناطق الأعشاب. ولا تعتمد أوساط النمو «بدون تربة» المستخدمة فى كثير من الصوبات والمشاتل على توفير مقدار كبير من احتياجات النبات من النتروجين، وتعمل بصفة رئيسية كوسط نمو طبيعى. وبدلاً من ذلك، يستخدم العاملون فى هذه الصوبات نظام التسميد من خلال مياه الري؛ باستعمال محاليل



شكل ٤ - ٢٠ التآزت في أراضي الغابات. (a) تأثير نوع الغابة على التآزت في أراضي غابة غير مُحسَّنة. (b) أراضي الغابة المحسَّنة بالحماة تزيد عملية التآزت. (c) نوع الحماة يؤثر في درجة التآزت في غابة أشجار البلوط (ADS = حماة مهضومة لاهوائية، LSS = حماة معادلة بالجير). (Burton et al., 1990.)

جدول ٤ - ١١ تأثير استصلاح أراضي المناجم التالفة عالية الحموضة على عمليتي التأزت وعكس التأزت، وعلى أعداد البكتريا المختزلة للنترات.

مقاييس عكس التأزت**	N المتمعدن*		pH	أرض المنجم التالفة
	ميكروجم / كجم / ساعة	ميكروجم / كجم / ساعة		
MPN / جرام	DEA ميكروجم/كجم/ساعة	نتراتي	أمونيومي	
٣	٥	٣	٢١	٣ر٨
١٨٠	١١	٣٨	١٢ -	٦ر٨
				موقع Osage :
٦	١١	٨	٣٣	٢ر٧
٩٨٠	٦٨	٢١	٨ -	٥ر٢

لاحظ أن موقع التتوات العارية تم تحسينه بالجير والسماط المعدني، بينما موقع Osage تمت معالجته برماد الفحم.

* معدل التغير في النتروجين الأمونيومي والنتراتي في مواد المنجم التالفة في دراسة تحضين معملية لمدة ٣٠ يوم.

** معدل عكس التأزت للنتروجين المضاف من مناطق المنجم التالفة مقدراً في دراسة معملية لنشاط انزيم عكس التأزت (DEA)؛ يُعبّر MPN عن عدد مختزلات النترات الأكثر احتمالاً في مواد المنجم التالفة اعتماداً على اختبار خماسي الأنايب.

(Shirey and Sexstone, 1989.)

عالية التركيز في النتروجين مرتبطة مع مياه الري الغزير لإزالة الأملاح من الصهاريج، وقد أدى هذا إلى التساؤل عن تأثير مياه الصرف من هذه الإمكانيات على جودة المياه السطحية والجوفية. وتتوافر حالياً برامج تسميد أكثر كفاءة، وهي معدلة للاستجابة لهذه الاهتمامات البيئية. ومن أمثلتها: استخدام الأسمدة بطيئة التيسر، نظم التسميد خلال مياه الري والمسمدة «الجزر والمدة»؛ حيث يتم توفير المحاليل المغذية ويعاد

استخدامها، ونظم معالجة مياه المجارى فى نفس المكان. وبالمثل، فقد تم تطوير برامج إدارة النتروجين المعدلة لمناطق الأعشاب، وتم تقويتها للاستخدام بواسطة أصحاب المنازل الخاصة وهؤلاء الذين تشملهم إدارة مناطق الأعشاب الصناعية أو مناطق الاستجمام (مثل: مناطق الجولف، الحدائق العامة، والملاعب الرياضية). ويعتبر تلافى فقد النتروجين بالغسيل أو بالسريان مع مياه الأمطار جزءاً فقط من الاهتمام بمناطق الأعشاب؛ فالتسميد الزائد بالنتروجين يزيد من تكرار وحجم الحشائش المقصودة، وهذه يجب التخلص منها بالدفن فى حفر أرضية. وبسبب أن كثيراً من البلديات لم تعد تقبل مخلفات الأبنية، فقد تزايدت الضغوط لتلافى استخدام زيادة من النتروجين، ولتدوير النتروجين فى نفس المكان من خلال برامج سليمة لقص الحشائش، أو تغطيتها، أو تحويلها إلى سماد عضوى صناعى (كمبوست).

المراجع :

- Alberts, E. E., Neibling, W. H., and Moldenhauer, W. C., Transport of sediment nitrogen and phosphorus through cornstalk residue strips, Soil Sci. Am. J., 45, 1177, 1981.
- Berry, J. T. and Hargett, N. L., 1986 Fertilizer Summary Data, National Fertilizer and Environmental Research Center, Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, AL, 1986, 132 pp.
- Binford, G. D., Blackmer, A. M., and El - Hout, N. M., Tissue test for excess nitrogen during corn production, Agron. J., 82, 124, 1990.
- Bock, B. R., Efficient use of nitrogen in cropping systems, in Nitrogen in Crop Production, Hauck, R. D., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1984, 273.
- Boswell, F. C., Meisinger, J. J., and Case, N. L., Production, marketing, and use of nitrogen fertilizers, in Fertilizer Technology and Use, Engelstead, O. P., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1985, 229.
- Burton, A. J., Hart, J. B., and Urie, D. H., Nitrification in sludge - amended Michigan forest soils, J. Environ. Qual., 19,609, 1990.

- Chae, Y. M. and Tabatabai, M. A., Mineralization of nitrogen in soils amended with organic wastes, *J. Environ. Qual.*, 15, 193, 1986.
- Deans, J. R., Molina, J. A. E., and Clapp, C. E., Models for predicting potentially mineralizable nitrogen and decomposition rate constants, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, 323, 1986.
- Donahue, R. L., Miller, R. W., and Shickluna, J. C., *Soils: An Introduction to Soils and Plant Growth*, 5th ed., Prentice - Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1983.
- Donovan, W. C. and Logan, T. J., Factors affecting ammonia volatilization from sewage sludge applied to soil in a laboratory study, *J. Environ. Qual.*, 12, 584, 1983.
- Ellert, B. H. and Bettany, J. R., Comparison of kinetic models for describing net sulfur and nitrogen mineralization, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52, 1692, 1988.
- Epstein, E., Keane, D. B., Meisinger, J. J., and Legg, J. O., Mineralization of nitrogen from sewage sludge and sludge compost, *J. Environ. Qual.*, 7, 217, 1978.
- Fox, R. H. and Hoffman, L. D., The effect of N fertilizer source on grain yield, N uptake, soil pH, and lime requirement in no - till corn, *Agron. J.*, 73, 891, 1981.
- Gartley, K. L. and Sims, J. T., Ammonia volatilization from poultry manure - amended soils, *Biol. Fert. Soils*, 16, 5 - 10, 1993.
- Hadas, A., Bar - Yosef, B., Davidov, S., and Sofer, M., Effect of pelleting, temperature, and soil type on mineral N release from poultry and dairy manures, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47, 1129, 1983.
- Hamilton, P. A. and Shedlock, R. J., Are fertilizers and pesticides in the ground Water? A case study of the Delmarva peninsula, U.S. Geological Survey Circular 1080, Denver, CO, 1992.
- Hergert, G. W., Status of residual nitrate - nitrogen soil tests in the United States of America, in *Soil Testing: Sampling, Correlation, Calibration and Interpretation*, Brown, J. R., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1987, 73.
- Igo, E. C., Sims, J. T., and Malone, G. W., Advantages and disadvantages of manure analysis for nutrient management purposes, *Agron. Abstr.*, 154, 1991.
- Jokela, W. E., Nitrogen fertilizer and dairy manure effects on corn yield and soil nitrate, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56, 148, 1992.

- Keeney, D. R., Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution, in Nitrogen in Agricultural Soils, Stevenson, F. J., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1982, 605.
- Kelling, K. A., Walsh, L. M., Keeney, D. R., Ryan, J. A., and Peterson, A. E., A field study of the agricultural use of sewage sludge. II. Effect on soil N and P, J. Environ. Qual., 6, 345, 1977.
- Magdoff, F. R., Jokela, W.E., Fox, R. H., and Griffin, G. F., A soil test for nitrogen availability in the Northeastern United States, Commun. Soil Sci. Plant Anal., 21, 1103, 1990.
- McInnes, K. J., Ferguson, R. B., Kissel, D. E., and Kanemasu, E. T., Field measurements of ammonia loss from surface applications of urea solution to bare soil, Agron. J., 78, 192, 1986.
- Meisinger, J. J., Bandel, V. A., Stanford, G., and Legg, J. O., Nitrogen utilization of corn under minimal tillage and moldboard plow tillage. I. Four year results using labeled N fertilizer on an Atlantic coastal plain soil, Agron. J., 77, 602, 1985.
- Nielsen, E. G. and Lee, L. K., The magnitude and costs of groundwater contamination from agricultural chemicals: a national perspective, Agric. Econ. Rep. No. 576, U.S. Department of Agriculture, Washington, D. C., 1987, 38 pp.
- Piekielek, W. P. and Fox, R. H., Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize, Agron. J., 84, 59, 1992.
- Rice, C. W., Sierzega, P. E., Tiedje, J. M., and Jacobs, L. W., Stimulated denitrification in the microenvironment of a biodegradable organic waste injected into soil, Soil Sci. Soc. Am. J., 52, 102, 1988.
- Roth, G. W. and Fox, R. H., Soil nitrate accumulations following nitrogen - fertilized corn in Pennsylvania, J. Environ. Qual., 19, 243, 1990.
- Sallade, Y. E. and Sims, J. T., Evaluation of thiosulfate as a nitrification inhibitor for manures and fertilizers, Plant and Soil, 147, 283, 1992.
- Schepers, J. S., Moravek, M. G., Alberts, E. E. and Frank, K. D., Maize production impacts on groundwater quality, J. Environ. Qual., 20, 12, 1991.
- Shirey, J. J. and Sexstone, A. J., Denitrification and nitrate reducing bacterial populations in abandoned and reclaimed mine soils, FEMS Microb. Ecol., 62, 59, 1989.

- Sims, J. T., Agronomic evaluation of poultry manure as a nitrogen source for conventional and no - tillage corn, Agron. J., 79, 563, 1987.**
- Sims, J. T., Murphy, D. W., and Handwerker, T. S., Composting of poultry wastes: implications for dead poultry disposal and manure management, J. Sust. Agric., 2(4). 67 - 82, 1992.**
- Stanford, G., Frere, M. H., and Schwaninger, D. H., Temperature coefficient of nitrogen mineralization in soils, Soil Sci., 115, 321, 1973.**
- Stanford, G. and Epstein, E., Nitrogen mineralization - water relations in soils, Soil Sci. Soc Am. Proc., 38, 103, 1974.**
- Touchton, J. T. and Hargrove, W. L., Nitrogen sources and methods of application for no-tillage corn Production, Agron. J., 74, 823, 1982.**
- Vigil, M. F. and Kissel, D. E., Equations for estimating the amount of nitrogen mineralized from crop residues, Soil Sci. Soc. Am. J., 55, 757, 1991.**

مراجع مساعدة:

- Dahnke, W. C. and Johnson, G. V., Testing soils for available nitrogen, in Soil Testing and Plant Analysis, Westerman, R. L., Ed., Soil Science Society of America, Madison, WI, 1990, 127.**
- Fedkiw, J., Nitrate Occurrence in U. S. Waters (and Related Questions): A Reference Summary of Published Sources from an Agricultural Perspective, U. S. Department of Agriculture, Washington, D. C., 1991.**
- Follett, R. F., Keeney, D. R., and Cruse, R. M., Managing Nitrogen for Groundwater Quality and Farm Profitability, American Society of Agronomy, Madison, WI, 1991.**
- Legg, J. O. and Meisinger, J. J., Soil nitrogen budgets, in Nitrogen in Agricultural Soils, Stevenson, F. J., Ed., Agron. Monogr. 22, American Society of Agronomy, Madison, WI, 1982, 503.**
- Power, J. F. and Schepers, J. S., Nitrate contamination of groundwater in North America, Agric. Ecosystems Environ., 226, 165, 1989.**
- Sommers, L. E. and Giordano, P. M., Use of nitrogen from agricultural, industrial and municipal wastes, in Nitrogen in Crop Production, Hauck, R. D., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1984, 207.**

الفصل الخامس

فوسفور التربة والجودة البيئية

٥ - ١ الفوسفور والبيئة:

الفوسفور (P) عنصر ضروري لجميع صور الحياة على الأرض، وليس له تأثيرات ضارة معروفة. وتُركّز الاهتمامات البيئية للفوسفور على تنشيط خصوبته الحيوية في نظم البيئة المائية؛ ففي معظم المياه السطحية مثل البحيرات، والبرك، والخلاجان يتحدّد نمو الطحالب أو النباتات المائية بالمستويات غير الكافية للفوسفور؛ فيمكن أن تؤدي الإضافات الكبيرة للفوسفور - من مياه مجارى المدن، أو من مياه الأمطار السارية على سطح الأرض، أو من تدفق المياه الجوفية تحت السطحية - إلى إزالة هذه القيود المحددة، وزيادة الكتلة الحيوية المائية إلى مستويات غير مرغبة بيئياً. وتعرف عملية التشبع الغذائي بأنها زيادة في حالة خصوبة المياه الطبيعية والتي بدورها تُسبب نمواً سريعاً للطحالب أو النباتات المائية. وتعتبر التأثيرات السلبية - المصاحبة لهذه العملية في المياه السطحية - مهمة سواءً من الناحية الاقتصادية أو البيئية. وكلما ازدادت تدريجياً إضافات الفوسفور للمياه السطحية، فإن الحالة الغذائية للمياه تمرُّ خلال أربع مراحل من كفاية التغذية وهي: مرحلة التغذية الناقصة، ومرحلة التغذية المتوسطة، ومرحلة التغذية الكافية أو المشبعة، ومرحلة التغذية فوق المشبعة أو الزائدة. وعند كل مرحلة، تحدث تغيرات متقدمة في بيئة المياه، وتؤثر في العادة، بطريقة سلبية، على استخداماتها الاقتصادية أو الاستجمامية. ويوجد ملخص لخواص المياه كفاية التغذية ومشكلاتها البيئية في الفصل الثانی (جدول ٢ - ٣، جدول ٢ - ٤).

وتتطلب إدارة الفوسفور - لغرض تلافي عملية التشبع الغذائي - فهم المسائل الأساسية العديدة الخاصة بالفوسفور في البيئة وهي:

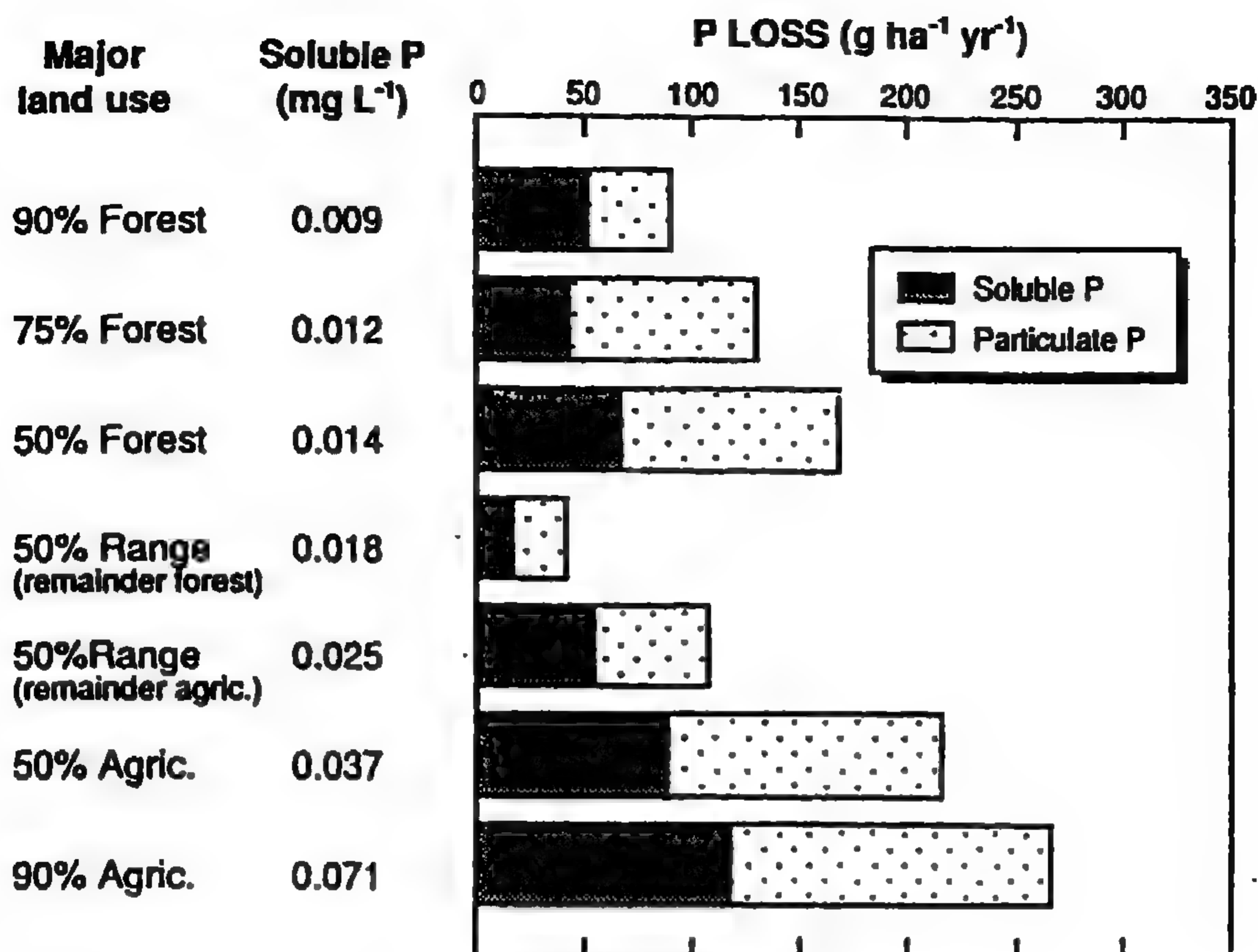
- * ما خواص المياه التي يمكن أن تتحكم في حدوث عملية التشبع الغذائي؟
- * ما مصادر الإضافات الطبيعية للفوسفور في المياه؟
- * أى إضافات الفوسفور تحدث من المصادر الزراعية، والحضرية، والصناعية؟
- * كيف تؤثر دورة فوسفور التربة في تيسر الفوسفور وانتقاله إلى البيئة المائية؟
- * ما ميكانيكية الانتقال السائدة التي تعمل بين مصادر الفوسفور والمياه؟
- * ما الممارسات الإدارية التي يمكن استخدامها لتقليل حمولة الفوسفور المنقول إلى بيئة المياه، من جميع المصادر الحضرية والقروية؟
- * كيف يمكن تطوير أسلوب متكامل ذي جدوى اقتصادية لتقليل حمولة الفوسفور في البيئة المائية؟

٥ - ١ - ١ ظاهرة التشبع الغذائي: دور الفوسفور :

نظراً لأن التأثير البيئي الوحيد للفوسفور هو دوره في عملية التشبع الغذائي، فإن الفهم الواضح لهذه العملية ضروري من أجل تطوير استراتيجيات سليمة لإدارة الفوسفور. ففي البحيرات ناقصة التغذية، تكون تركيزات عنصرى النتروجين والفوسفور (الذائب، والمرتبطة بالرواسب) منخفضة، وتعوق نمو الطحالب والنباتات المائية الأخرى. وعادة، تكون هذه البحيرات أعمق وبها مستويات أكسجين كافية، حتى في فصل الصيف حين يكون التمثيل الضوئي ودرجة الحرارة ملائمين للنمو الأعظم للنبات. كما تختلف هذه البحيرات أيضاً بدرجة كبيرة في أنواع النباتات والحيوانات بها. ومع ذلك، فإن هذه البحيرات، بسبب انخفاض تركيزات العنصر الغذائي بها، لها إنتاجية حيوية منخفضة؛ وفي حالة استخدامها لإنتاج اقتصادى من الأسماك، فإنها في الغالب تتطلب تسميداً مستمراً. على أن التغير في النظام البيئي (مثل: إنشاء

محطات معالجة مياه الصرف الصحي، وتحويل أراضي الغابات إلى الاستغلال الزراعي أو الحضري) يؤدي إلى زيادة مدخلات العناصر الغذائية إلى هذه البحيرات ناقصة التغذية، خاصة عنصرى النتروجين والفوسفور، ويشجع بذلك نمو الطحالب والنباتات المائية الأخرى، وتبدأ بذلك عملية التشبع الغذائي، وكما هو موضح فى شكل ٥ - ١، فإن تحول ٩٠٪ من أراضي الغابات إلى ٩٠٪ أراضي زراعية، يمكن أن يؤدي إلى زيادة قدرها ثلاثة أضعاف فى فقد الفوسفور الكلى فى ماء المطر السارى.

* وبمجرد ثبات ظروف التغذية الكافية، تزهر الطحالب، وتحدث تأثيرات بيئية أخرى مدمرة تشمل: انخفاض مستويات الأكسجين الذائب، والنمو الزائد للأعشاب المائية الضارة، وزيادة الترسيب، وزيادة العكارة. وتعتبر الأكسجة الناقصة أول تأثير سلبي لعملية التشبع الغذائي، بسبب أن مستويات الأكسجين الذائب المنخفضة تعوق بدرجة كبيرة نمو وتنوع النباتات والحيوانات المائية، وتحت الظروف المتطرفة تسبب موت الأسماك. وتسبب زيادة الكتلة الحيوية الناتجة من عملية التشبع الغذائي استنفاداً للأكسجين، خصوصاً خلال عملية التحلل الميكروبي لمخلفات النباتات والطحالب. وتحت ظروف زيادة العكارة أكثر من المعتاد فى البحيرات كافية التغذية، يقل نفاذ الضوء فى الأعماق الأكثر انخفاضاً للمياه، وهذا ينتج عنه قلة نمو نباتات تحت السطح والكائنات التى تعيش فى الأعماق. وبالإضافة إلى الدمار البيئي، فإن عملية التشبع الغذائي يمكن أن ترفع من قيمة التكاليف الاقتصادية لصيانة المياه السطحية والمحافظة عليها لأغراض الاستجمام والملاحة. ومن بين التأثيرات البيئية غير المرغوبة - والتي ذكرت كثيراً - لعملية التشبع الغذائي مايلي: غُثاء الطحالب على سطح المياه، الروائح العفنة، مشكلات الحشرات، إعاقه تدفق المياه وحركة المراكب بسبب الأعشاب المائية، البحيرات الضحلة التى يجب تطهيرها (أى يجرف مابها من وحل) لإزالة الرواسب، اختفاء جماعات الأسماك المرغوبة. ولقد أدت هذه التأثيرات البيئية إلى جهود كبيرة لتطوير استراتيجيات الإدارة بهدف تخفيض مدخلات العنصر إلى المياه السطحية، حيثما أمكن ذلك، وذلك لإصلاح ومعالجة البحيرات والبرك كافية التغذية.



شكل ٥ - ١ تأثير استخدام الأراضي على فقد الفوسفور الذائب والفوسفور المرتبط بالمواد العالقة من الأراضي. (Sharpley and Halvorson, 1994.)

وتتطلب مقاومة عملية التشبع الغذائي تخفيض عملية إثراء المياه السطحية بعنصرى النتروجين والفوسفور إلى أدنى حد، بالرغم من أنه في معظم المياه العذبة تتوقف الإنتاجية البيولوجية على عنصر الفوسفور وليس على عنصر النتروجين. وهناك أدلة حديثة من نظم مصبات الأنهار - كما هو الحال عند خليج شيسايبك - تقترح أن يكون العنصر المحدد في مياه المد والجزر أو المياه المالحة - هو عنصر النتروجين، على أن الانخفاض الكبير لنويان الفوسفور، وبالتالي التيسر الحيوى له، مقارنة بالنتروجين، في معظم النظم الطبيعية، (أرضية أو مائية) يشرح لماذا تكون ظاهرة التشبع الغذائي في المياه العذبة عادة محدودة بعنصر الفوسفور، إن حد بداية حدوث ظاهرة التشبع الغذائي لمعظم النظم المائية المتوقفة على الفوسفور حوالى ٢٠ ميكروجرام P لكل لتر

(٣٠ جزء فى البليون). وبذلك تكون المياه ذات تركيزات الفوسفور المنخفضة طبيعياً حساسة بدرجة كبيرة لمدخلات الفوسفور من مصادره المختلفة مثل سريان ماء المطر الزراعى، ونظم معالجة مياه الصرف الصحى، وتصريف مياه الأمطار فى المدن، ومياه الصرف الصناعى.

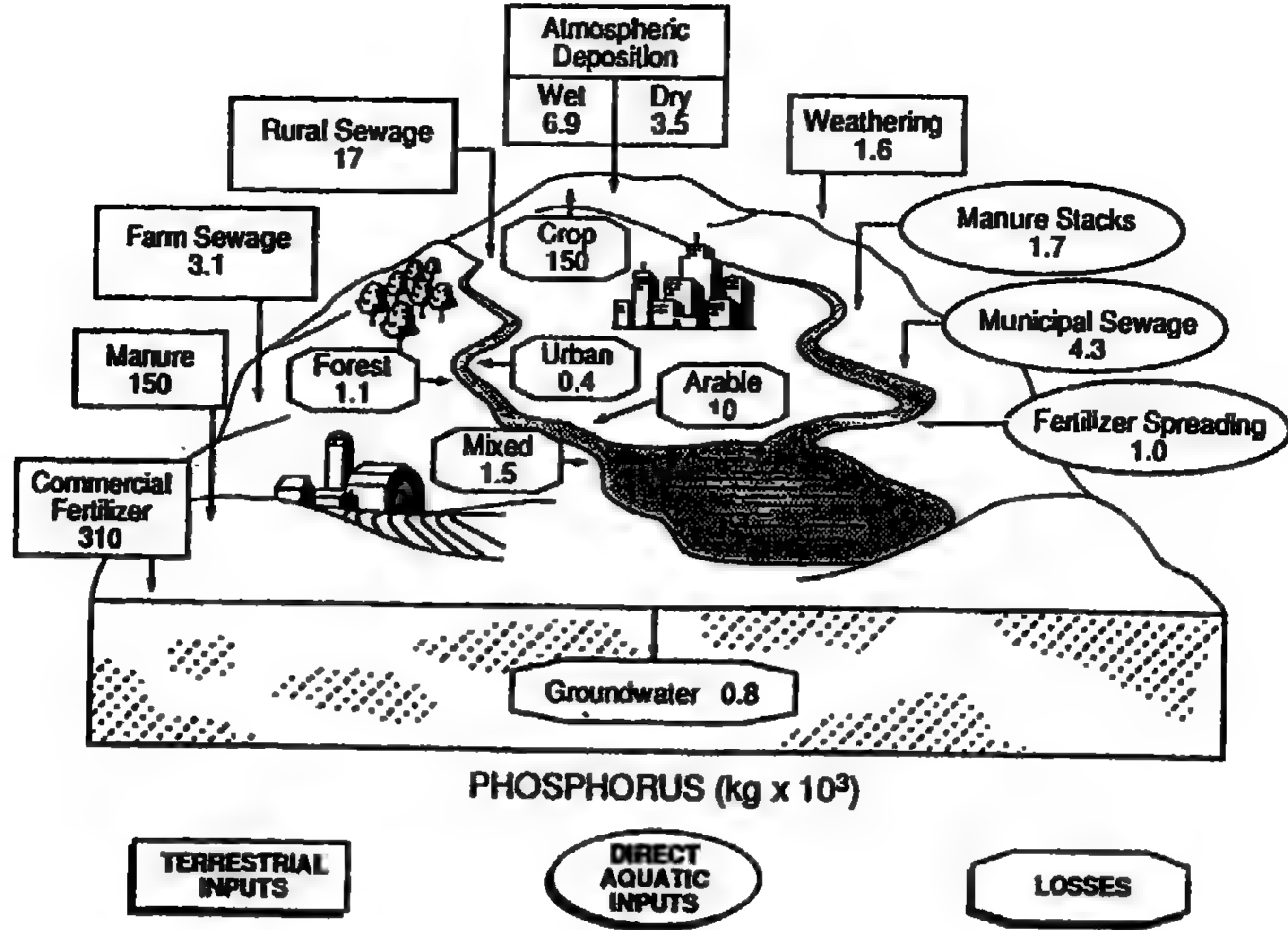
والإستراتيجيات التى تهدف إلى خفض حمولة الفوسفور يجب أن تأخذ فى اعتبارها طبيعة مصدر الفوسفور وكذلك أيضاً حساسية المياه لعملية التشبع الغذائى. حتى النظم البيئية الطبيعية، مثل الغابات أو المراعى، عادة، تُعتبر منخفضة فى خصوبتها، ويمكن أن تعطى كمية وافية من الفوسفور فى مياه المطر السارية على السطح وتحت السطح، ويتغير بذلك توازن العنصر فى جسم المياه ويرتفع فوق حد بداية عملية التشبع الغذائى، وإن السيطرة على مدخلات الفوسفور من هذه المناطق غير عملى أو غير معقول بصفة عامة، مع التسليم بإمكانية الاستثناء فى حالة العمليات التجارية فى الغابات حيث يمكن لممارسات مقاومة الانجراف أن تخفض حمولات الرواسب إلى المياه السطحية. وعلى العكس من ذلك، فإن انطلاق الفوسفور من نقطة مصدر ذى تركيز عالى (مثل محطة معالجة مياه المجارى) يكون من السهل نسبياً التعرف عليه والسيطرة عليه، ولكنه يكون مكلفاً لتصحيحه وذلك راجع إلى التكلفة اللازمة للتحسينات التكنولوجية لمحطات معالجة مياه الصرف الصحى أو مياه الصرف الصناعى، وعكس ذلك، فإن انخفاض حمولة الفوسفور إلى المياه السطحية من مصادر غير معروف نقطة انطلاقها - مثل سريان ماء المطر من مناطق تجمعها الحضرية والزراعية - لا يتوقف على التكاليف التكنولوجية، ولكن على الصعوبات المصاحبة لتنفيذ الممارسات المحسنة لإدارة العنصر على مستوى المساحات الكبيرة التى بها مشاريع زراعية (أو صناعية) متنوعة. وإن القيمة النسبية لمصادر إضافة الفوسفور، والتعقيدات التى تتضمنها عملية تخفيض حمولة الفوسفور (أو النتروجين) إلى البحيرات أو الأجسام المائية الأخرى، موضحة فى شكل ٥ - ٢ الذى يُبين نظرة واسعة عن تأثير المدنية على ميزانية الفوسفور فى مستجمع الأمطار (فوسفور المخرجات - فوسفور المدخلات). وفى حالة مستجمع الأمطار فى بحيرة رنجسون، فإن الميزانية سالبة بصفة مؤكدة: أى أن فوسفور المدخلات من جميع المصادر بما فى

ذلك مياه المجارى البلدية والريفية، والأسمدة الحيوانية، والأسمدة المعدنية، وماء المطر السارى من المناطق الحضرية ومناطق الغابات، تبلغ جميعها حوالى ٥١٢ ألف كيلو جرام فى السنة؛ بينما فوسفور المخرجات (المحاصيل، المياه الجوفية) تبلغ حوالى ١٥٠ ألف كيلو جرام فى السنة. وبالرغم من أن جميع مدخلات الفوسفور هذه لا تدخل مباشرة البحيرة، فمن الواضح أن عملية إغناء العنصر فى البحيرة - على المدى الطويل - تعزى على الأرجح إلى قدر أو قيمة الأنشطة الزراعية والحضرية فى مستجمع الأمطار (أى البحيرة).

٥ - ١ - ٢ التأثيرات البيئية لفوسفور التربة :

بالرغم أن كثيراً من مصادر الفوسفور لها القدرة على أن تُحفَظ (تُعجَّل) تشجيع عملية التشبع الغذائى فى المياه السطحية، فإن بؤرة اهتمام هذا الفصل هى إدارة الفوسفور فى الأراضى الزراعية وذلك لتلافى مشاكل جودة المياه. فالتلوث بالفوسفور من مصادره غير المعروف نقطة انطلاقها من الأراضى الحضرية سوف يؤخذ أيضاً فى الاعتبار، بصفة أولية لإيضاح الاختيارات الإدارية المختلفة اللازمة التى تكون مصادر الفوسفور الرئيسية فيها هى عمليات الانجراف، وسريان ماء المطر بسبب العواصف، وعمليات البستنة المكثفة.

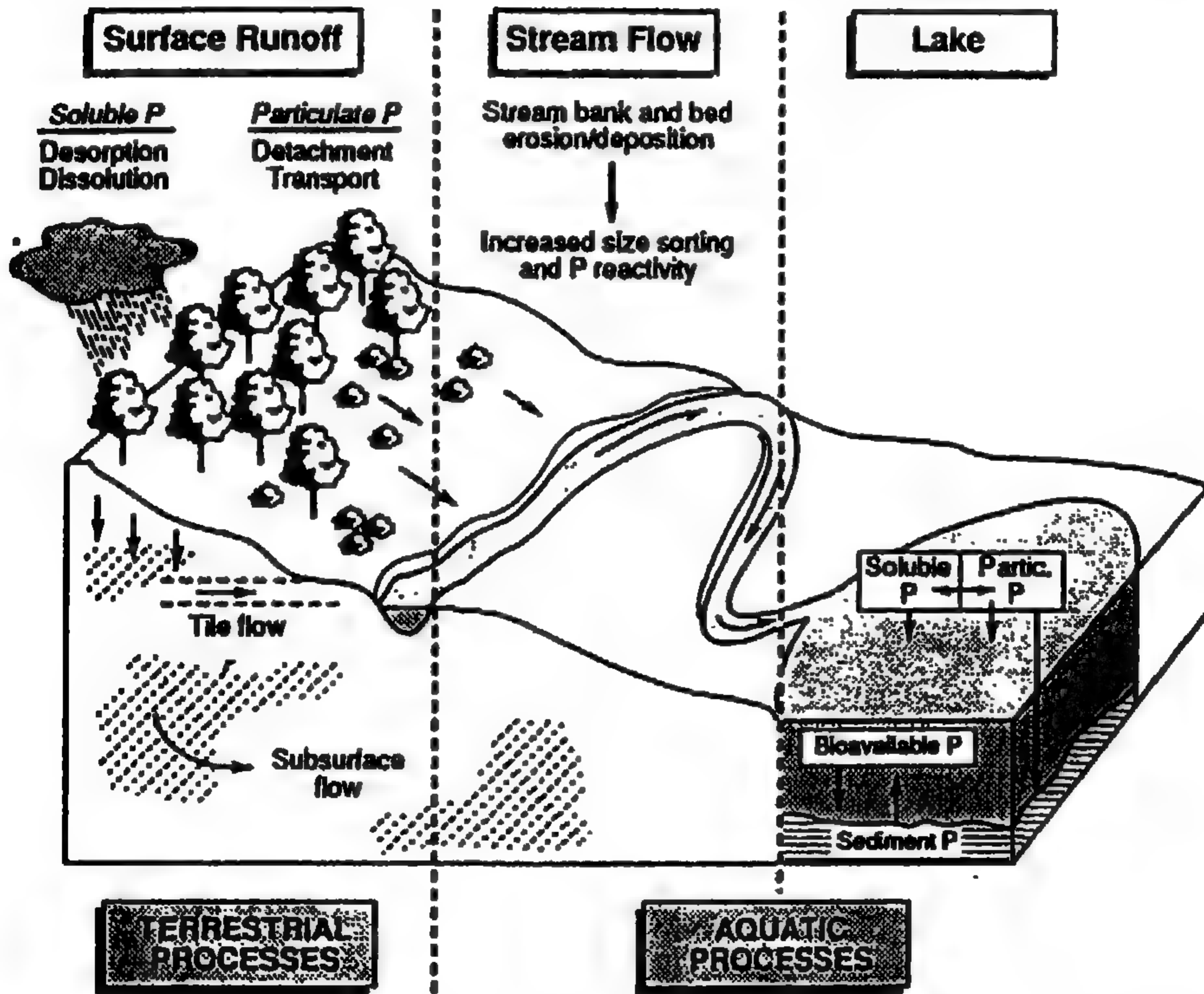
ويتم التحكم فى الكمية الكلية للفوسفور فى البحيرة أو الأجسام المائية السطحية الأخرى بواسطة التوازن بين المدخلات من مصادر الفوسفور الخارجية المذكورة بعاليه والمخرجات مثل تسرب المياه من البحيرة إلى الأنهار، والجداول، والمجارى المائية. وسوف يؤدى صافى الزيادة فى الفوسفور إلى زيادة احتمال حدوث عملية التشبع الغذائى؛ ومع ذلك، فإن تدوير الفوسفور بين الصور المختلفة: الصور الذائبة، والعضوية، والمرتبطة بالرواسب فى داخل البحيرة، سوف ينظم التيسر الحيوى للفوسفور، وبالتالي ينظم درجة عملية التشبع الغذائى التى تحدث. ولذلك، فإن أهمية فوسفور التربة فى عملية التشبع الغذائى سوف تُنظَّم بواسطة التفاعلات الكيميائية، والحيوية، والفيزيائية التى تتحكم فى نوبان الفوسفور؛ وعمليات الانتقال التى تحرك



شكل ٥ - ٢ ميزانية الفوسفور للمناطق الزراعية والحضرية لمستجمع أمطار بحيرة Rings-jön بالسويد. (Ryding et al. 1990.)

جميع صور الفوسفور إلى الأجسام المائية وداخلها. ويمثل شكل ٥ - ٣ نظرة شاملة لهذه الظواهر المعقدة، وهو يلخص حركة الفوسفور في الأراضي، وآليات الانتقال الرئيسية إلى جسم المياه، والتحويلات الرئيسية التي يحدثها الفوسفور في النظام المائي. وباختصار، فإن معظم الفوسفور في الأراضي الزراعية (أو الحضرية) يوجد في هيئة مترسبات غير ذائبة للكالسيوم، والحديد، و/ أو الألومنيوم، أو في هيئة مكون واسع المدى من مركبات عضوية. والماء المتحرك عبر أو خلال الأراضي يزيل كلا من الفوسفور الذائب والرواسب الغنية بالفوسفور، وهي عادة حبيبات خفيفة وصغيرة الحجم مثل حبيبات الطين وبعض المادة العضوية التي تُستهلك بها (تبدأ بها) عملية الانتقال. والفوسفور الذائب أو الفوسفور المرتبط بالحبيبات الدقيقة هذه، إما أن يدخل

جسم الماء المنساب حيث يترسب في هيئة رواسب أو يُحمل مباشرة في داخل البحيرة أو البركة. ويمكن أيضاً للفوسفور أن يرشح إلى أسفل في التربة، ربما إلى مستوى نظام الصرف المغطى أو مستوى الماء الجوفى؛ حيث يستطيع الفوسفور بعد ذلك عن طريق الانتقال تحت السطح أن يتدفق في الجول أو البحيرة. وبمجرد دخوله البحيرة، يكون الفوسفور الذائب جاهزاً فوراً وفي الحال للامتصاص بالكائنات المائية مثل الطحالب، بينما يتم إزالة الكثير من الفوسفور المرتبط بالجسيمات الدقيقة من البحيرة عن طريق الترسيب في هيئة رواسب أو مترسبات. ومن المهم أن نلاحظ، رغمًا عن ذلك، أن الفوسفور المرتبط بالرواسب في الجداول أو البحيرات قد يصبح مُسرّاً للامتصاص الحيوى في وقت لاحق، وهذا يمكن أن يحدث عندما يُستنفذ الفوسفور الذائب نتيجة



شكل ٥ - ٣ انتقال الفوسفور ومصيره في النظم البيئية الأرضية والمائية.
(Sharpley and Halvorson, 1994.)

امتصاصه بواسطة النباتات المائية أو عندما تسبب الظروف المناخية تعكير وإعادة تعليق الرواسب. وبكل وضوح ؛ فالأمر يتطلب فهماً عميقاً لكيمياء، وبيولوجيا، وفيزياء الفوسفور فى التربة والبيئة المائية وذلك لتصميم ممارسات الإدارة التى سوف تقلل من تأثيرات الفوسفور على جودة المياه.

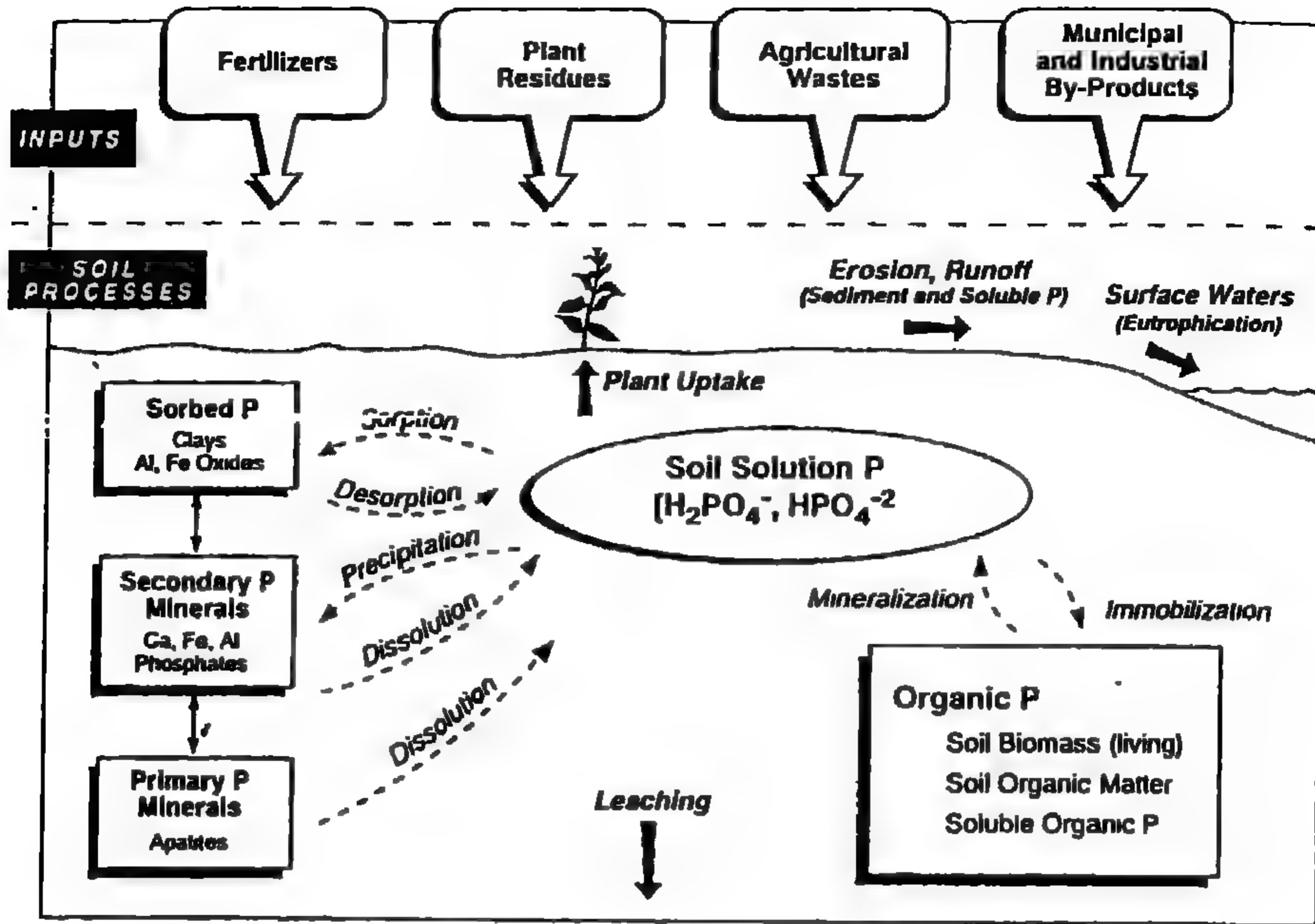
٥ - ٢ دورة فوسفور التربة :

إن المستويات الكافية للفوسفور فى الأراضى ضرورية لإنتاج المحاصيل الزراعية والنباتات النامية لأغراض جمالية فى المناطق الحضرية، وعلى ذلك فالتسميد بالفوسفور يعتبر مكوناً حيوياً للزراعة الحديثة. فالفوسفور الموجود فى جميع البيئات الأرضية، ينشأ، بصفة أولية، من عملية التجوية لمعادن التربة والمواد الجيولوجية الأخرى الأكثر ثباتاً. وعندما ينوب الفوسفور فى الأراضى بواسطة العمليات الكيميائية والفيزيائية للتجوية، فإنه يتراكم بواسطة النباتات والحيوانات، ويتحول إلى صور ثابتة فى الأراضى، أو قد ينجرّف من الأراضى ويترسب فى هيئة رواسب فى المياه العذبة أو المحيطات. وتقوم مشروعات المناطق الحضرية أو مشروعات الإنتاج الحيوانى الكبيرة بتحويل الفوسفور المتراكم بيولوجياً (غذاء أو علف) فى مخلفات بشرية أو حيوانية (مياه المجارى، الأسمدة الحيوانية)، ثم تقوم بتدوير هذا الفوسفور فى الإيكوسفير بدرجات متفاوتة من الكفاءة. كما تقوم عوامل التربة، التى تتحكم فى معدل تحول الفوسفور بين الصور غير العضوية والصور العضوية، بتنظيم مصير الفوسفور فى البيئة على المدى القصير والمدى البعيد. وتتكون دورة فوسفور التربة الموضحة فى شكل ٥-٤ من تفاعلات كثيرة معقدة كيميائية وميكروبيولوجية. على أن الغاية النهائية لبرامج الإدارة البيئية والزراعية الخاصة بفوسفور التربة هى تعظيم نمو النبات، وفى نفس الوقت تقليل فواقد الفوسفور إلى المياه السطحية إلى أدنى حد. وعلى ذلك، فمن المهم أن نفهم دور كل تفاعل فى التحكم فى تيسر فوسفور التربة للامتصاص بواسطة النبات أو الفقد فى مياه الانجراف، وماء المطر السارى على السطح، ومياه الغسيل، ومياه الصرف.

٥ - ٢ - ١ فوسفور التربة غير العضوي :

تتراوح عادة مستويات الفوسفور الكلى فى الأراضى من ٥٠ إلى ١٥٠٠ ملليجرام/ كيلوجرام، ٥٠ - ٧٠٪ منها يوجد فى صورة غير عضوية. وتختلف - قليلا - المعادن الرئيسية التى يحدث لها تجوية وينطلق منها الفوسفور إلى صور أكثر نوباناً بين الأراضى، وبصفة أساسية كدالة للزمن وتطور التربة ، كما هو موضح فى شكل ٥ - ٥أ. وفى الأراضى التى لم يحدث لها تجوية أو حدثت لها تجوية حديثة، فإن المعادن السائدة هى الأباتيت، وفوسفات الكالسيوم بالتركيب الكيماوية العامة $Ca_{10}(PO_4)_6 X_2$ ، حيث تمثل X أنيونات مثل الفلوريد، الكلوريد، الهيدروكسيل، أو الكربونات. وبالرغم من معرفتنا لأكثر من ٢٠٠ صورة للفوسفور المعدنى فى الطبيعة، فإن معادن الفلورو أباتيت هى الصورة الأكثر شيوعاً فى هيئة معدن خام يمكن تعدينه، وفى هيئة أحد مكونات معظم الأراضى الصالحة للزراعة. وفى مناطق التجوية الكثيفة، يتم غسيل معادن الكالسيوم والمعادن الأخرى القاعدية من التربة، وينخفض رقم حموضة المحلول الأرضى، ويحدث نوبان للحديد والألمنيوم. وتتكون رواسب من الحديد، والألمنيوم، والفوسفور، وتصبح هى المصادر المعدنية الأساسية للفوسفور فى الأراضى التى حدثت لها تجوية بدرجة عالية. كما يسود أيضاً فى هذه الأراضى أكاسيد الحديد والألمنيوم غير المتبلورة، وتعمل كأنها «بالوعة» للفوسفور، من خلال عديد من التفاعلات الكيميائية، ويشار إليها جميعها بعملية تثبيت الفوسفور.

وعندما ينوب الفوسفور أو ينطلق من المكونات الصلبة للتربة، فإنه يدخل المحلول الأرضى؛ حيث تتوقف الصورة الأيونية للفوسفور، بدرجة كبيرة، على رقم حموضة التربة. وفى حالة مدى رقم الحموضة الشائع فى الأراضى الزراعية (٤ - ٩)، يوجد الفوسفور إما على صورة أنيون أحادى التكافؤ ($H_2PO_4^-$) أو ثنائى التكافؤ (HPO_4^{2-}) (كما هو موضح فى شكل ٥ - ٥ ب)، وكلاهما ميسر أو جاهز فوراً للامتصاص بواسطة النبات. ولعل أحد الصفات المشتركة للفوسفور فى الأراضى عند جميع مراحل التجوية هو انخفاض نوبان المعادن الحاملة للفوسفور. وفى معظم الأراضى الزراعية يتراوح تركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى من ٠.١ إلى ١.٠ ملليجرام فى اللتر



شكل ٥ - ٤ دورة الفوسفور في الأراضي. نظرة شاملة للعمليات الفيزيائية، والكيميائية، والميكروبيولوجية المتحكمة في تيسر الفوسفور للنباتات وانتقاله في ماء المطر الساري أو في مياه الغسيل. (Gachon, 1969.)

(جزء في المليون)، بالرغم من وجود تركيزات عالية مثل ٦ - ٨ ملليجرام/ لتر أمكن قياسها في أراضي مسمدة حديثاً. وتختلف تركيزات الفوسفور الذائبة اللازمة للنمو العادي للنبات قليلاً بين الأصناف المختلفة وتبعاً لكمية المحصول. ولقد تم تسجيل رقم ٢.٠ ملليجرام P /لتر كقيمة شائعة للتركيز المرغوب لفوسفور المحلول الأرضي. كما وجد أن تركيزات الفوسفور المنخفضة مثل ٠.٣.٠ ملليجرام في اللتر كافية لإنتاج محصول كبير للكثير من المحاصيل الحقلية، وبطريقة شائعة، فإن تركيز الفوسفور الذائب المساوي ٠.٣.٠ ملليجرام فوسفور في اللتر يستخدم أيضاً كحد أو عتبة لبداية حدوث عملية التشبع الغذائي في المياه العذبة، ونستنتج من هذا أنه توجد عمومية في احتياجات التغذية بالفوسفور بين النباتات الأرضية والنباتات المائية.

٥ - ٢ - ٢ فوسفور التربة العضوى :

يدخل الفوسفور الذائب من المعادن فى المحلول الأرضى حيث يحدث له تراكم أو تجمع بيولوجى. وتختلف النباتات بدرجة واسعة فى محتواها من الفوسفور، وفى معظم المحاصيل الزراعية يتراوح من ٠.١ إلى ٥.٠ ٪ فوسفور، ويكون أقل بكثير عن تركيزات العناصر الكبرى الأخرى الضرورية للنبات مثل النتروجين والبوتاسيوم (٢ - ٤ ٪). وفى المناطق الزراعية، يحدث إزالة لبعض الفوسفور المتراكم بواسطة النباتات من التربة فى صورة محصول حبوب أو علف للماشية، والباقى يعود للتربة كبقايا مخلفات المحاصيل (جدول ٥ - ١). وفى البستنة الحضرية ونظم البيئة المحلية، فإن جميع الفوسفور المتراكم يمكن تدويره مؤخرًا فى التربة عندما تموت النباتات أو تفقد المادة الخضراء استجابةً للتطور البيولوجى العادى. ولعلّ أحد أهم الاهتمامات البيئية فى المناطق الحضرية، هو تحويل الفوسفور المندمج بيولوجيا فى البساتين الخاصة أو الصناعية فى مادة عضوية متبقية (أوراق، أعشاب خضراء مقصوصة) التى يتم التخلص منها بواسطة البلديات عن طريق الدفن فى حفر بالأرض أو عن طريق مشروعات ضخمة لتحويلها إلى سماد عضوى صناعى (كمبوست). وبالمثل، تمثل الفضلات البشرية تحولا للفوسفور المتراكم بيولوجيا من محاصيل السلسلة الغذائية إلى مادة عضوية متبقية (مياه المجارى). والمثال الزراعى المناظر لهذا الوضع هو الزراعة المركزة المعتمدة على الحيوان (مزارع الأبقار، مشروعات الدواجن) حيث يتحول الفوسفور العضوى فى المحصول إلى فوسفور عضوى فى السماد الحيوانى. وفى كل من النظم الزراعية والحضرية فإن هذه المادة العضوية المتبقية تضاف - غالباً وباستمرار - إلى الأراضى فى منطقة جغرافية محدودة، وهذا يؤدى إلى ارتفاع مستوى الفوسفور الأرضى إلى مستويات الاهتمام البيئى، لأنه مع مرور الزمن فإن كثيراً من الفوسفور العضوى يتحلل بواسطة الكائنات الدقيقة فى التربة ويتحول بعد ذلك إلى صور ذائبة غير عضوية (جدول ٥ - ٢).

وتشمل الصور الشائعة للفوسفور العضوى الموجودة فى الأراضى مركبات فوسفات الإنيسيتول، والفوسفو ليبيدات، والفوسفو جليسريدات، والسكريات

جدول ٥ - ١ تركيزات الفوسفور وإزالتها في الأجزاء المحصودة لبعض المحاصيل الزراعية الرئيسية.

المحصول	تركيز الفوسفور (%)	المحصول ميغا جم / هكتار	الفوسفور المزال كجم P / هكتار
الحبوب:			
الذرة	٠.٢٨	٩ر٤	٢٦
الأرز	٠.٢٤	٤ر٠	١٠
فول الصويا	٠.٥٨	٢ر٧	١٢
القمح	٠.٤٥	٢ر٧	١٢
العلف:			
البرسيم الحجازي	٠.٢٥	١٣ر٤	٣٤
حشيشة برمودا	٠.٣٢	٢٢ر٤	٧١
سيلاج الذرة	٠.٠٦	٦٧ر٢	٣٩
البرسيم الأحمر	٠.٢٥	٩ر٠	٢٢
العكرش الطويل	٠.٤٤	٩ر٠	٣٩
محاصيل خاصة:			
الفول	٠.٠٦	٢٦ر٩	١٥
الكرفس	٠.١٤	٦٧ر٢	٩٠
البصل	٠.٠٥	٤٠ر٣	١٩
البطاطس	٠.٠٤	٤٤ر٨	١٧
قصب السكر	٠.٠٢	٢٢٤ر٠	٤٨
الذرة السكرية	٠.٠٧	٦ر٧	٥
الطماطم	٠.٠٤	٦٧ر٢	٢٧

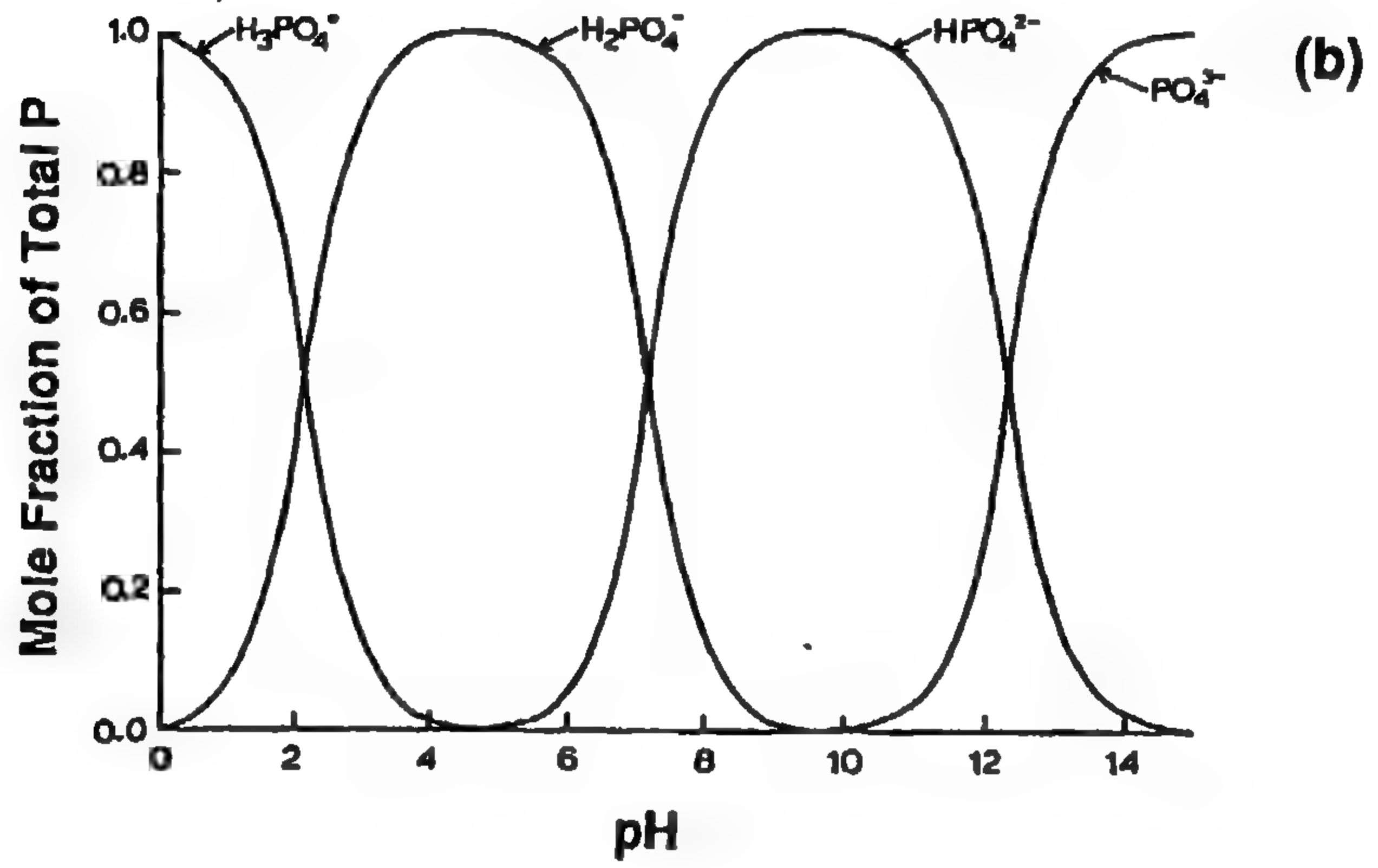
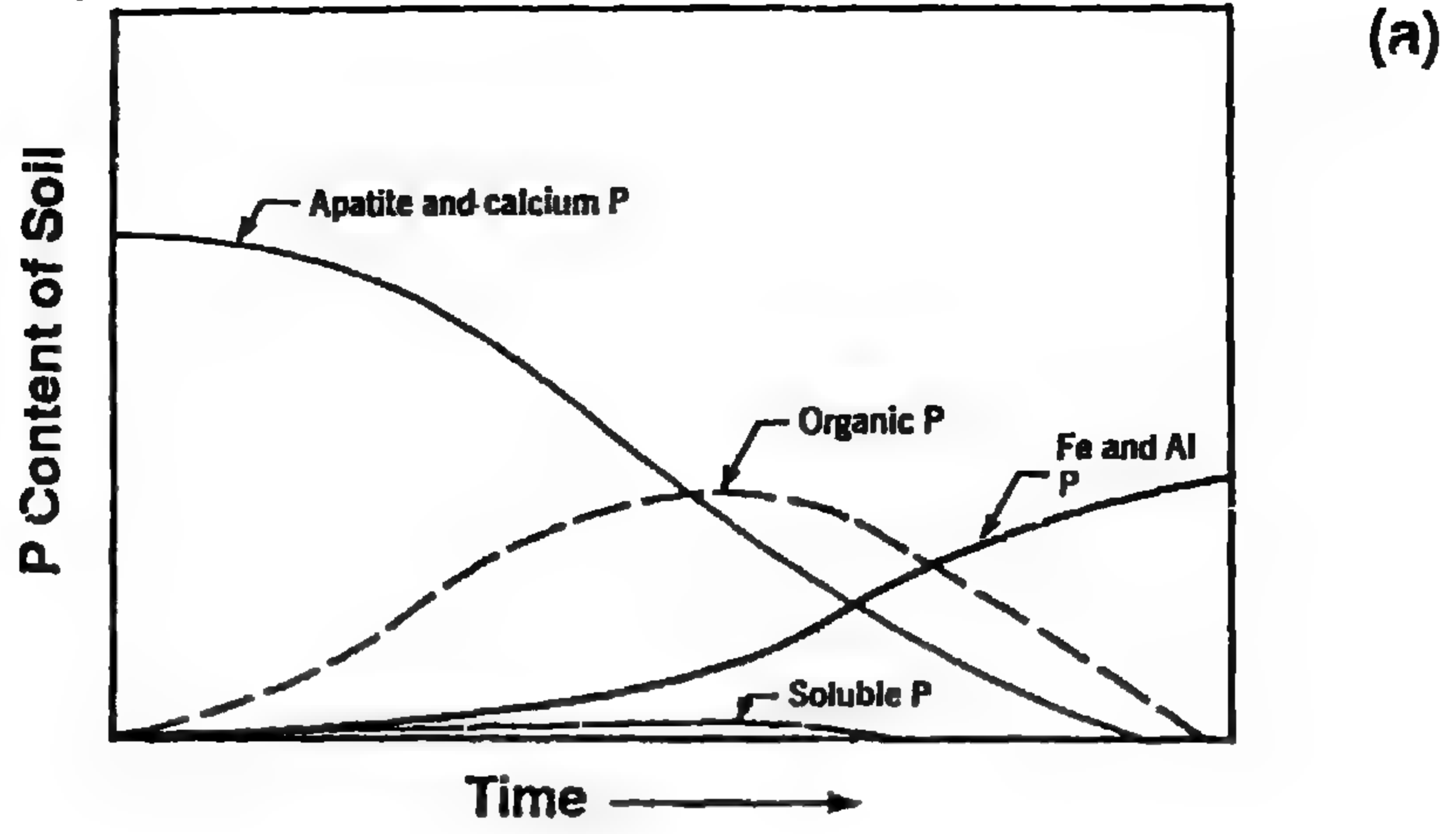
(Pierzynski and Logan, 1993.)

جدول ٥ -٢ صور الفوسفور في الأراضي المحسنة بالمخلفات العضوية.

معاملات التربة	P الكلى	P العضوى	P غير العضوى
	مجم / كجم		
أراضي مُحسَّنة بِسَماد حيوانى :			
أربعة أراضى من ديلاوير	١٤٦٧	٢٨١ (%١٩)	١١٦٦ (%٨١)
سبعة أراضى من بنسلفانيا	٢٢٤٠	٤٢٧ (%١٩)	١٨١٣ (%٨١)
أرض طمى طينية من بولمان :			
أرض غير معاملة	٣٥٣	٢٠٢ (%٥٧)	١٥١ (%٤٣)
أرض + P معدنى	٤٥٧	٢٣١ (%٥١)	٢٢٦ (%٤٩)
أرض + مخلفات مرعى الأبقار	٩٩٦	٣٢٣ (%٣٢)	٦٧٣ (%٦٨)
(٦٧ ميجا جم / هكتار / سنة)			
أرض طمى رميلة من جرين فيلد:			
أرض غير معاملة	٥٧٩	٦٠ (%١٠)	٥١٩ (%٩٠)
أرض + حمأة المجارى	١٤٣٣	١٢٢ (%٩)	١٢١١ (%٩١)
(٤٥ ميجا جرام / هكتار)			

(Sims ,1992 ; Sharpley et al .,1984 ; and Chang et al., 1983.)

الفوسفاتية، والأحماض النووية. ويؤدى التحلل الميكروبي للفوسفور العضوى إلى انطلاق الفوسفور الذائب، الذى يتحول عادة مع مرور الوقت إلى صور غير عضوية ثابتة للفوسفور. ولقد أوضحت الدراسات أن أكثر من ٥٠% من الفوسفور المنقول فى ماء المطر السارى عبارة عن فوسفور عضوى ذائب ، وتعتمد درجة ومعدل تحول الفوسفور العضوى إلى صور ذائبة أو صور غير عضوية ثابتة بدرجة كبيرة على طبيعة



شكل ه - ه التغيرات في صورة فوسفور التربة، وتأثيرها بواسطة:

(a) زمن تطور الأراضي بالنسبة للفوسفور الكلي؛

(b) رقم حموضة التربة pH بالنسبة للفوسفور الذائب.

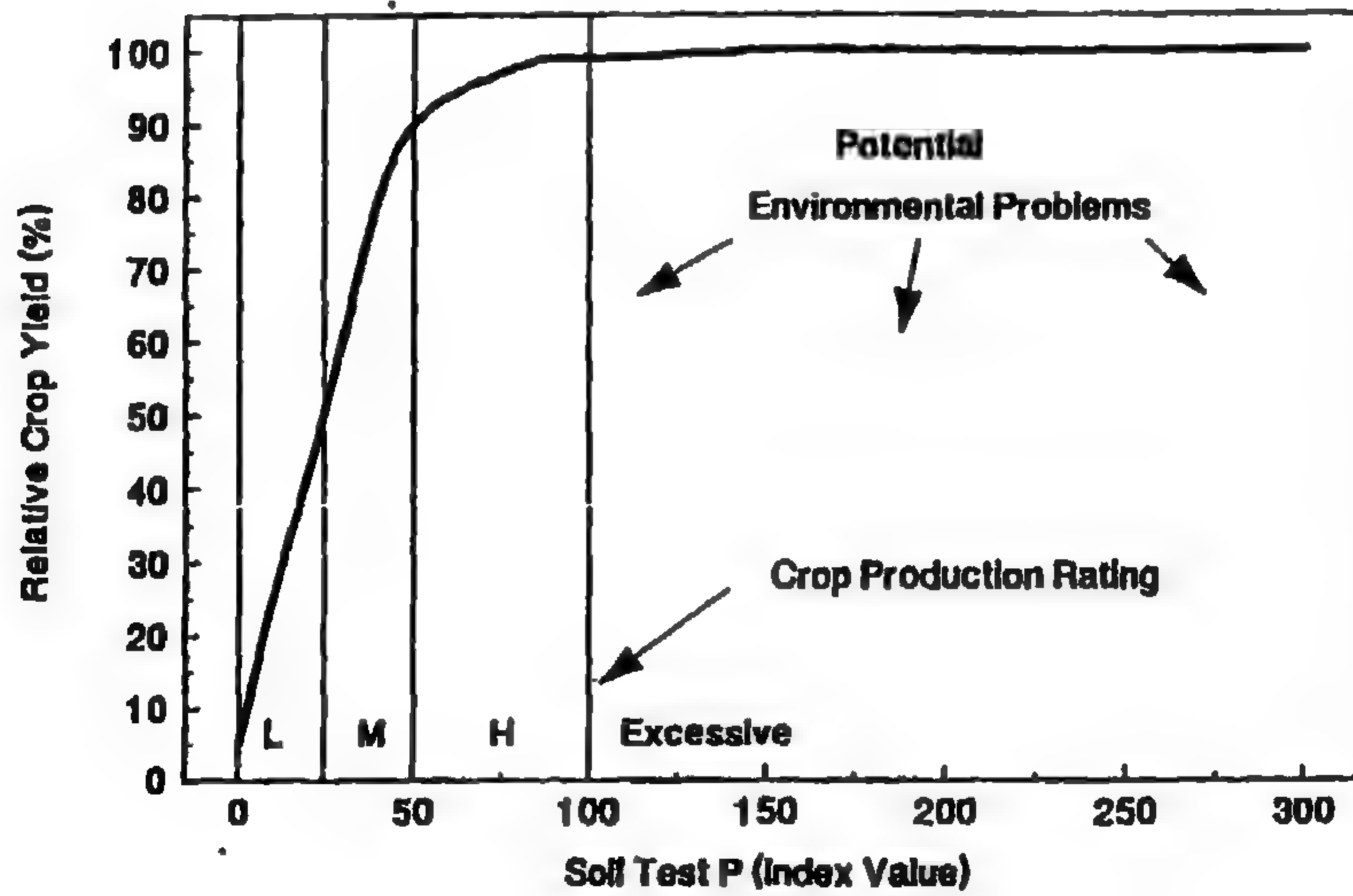
(Foth and Ellis, 1988:)

المادة العضوية الأصلية، وأيضا على العوامل البيئية مثل رقم حموضة التربة، ودرجة حرارتها، ونسبة الرطوبة بها. فالمخلفات العضوية الطازجة ينطلق منها الفوسفور إلى المحلول الأرضي بسرعة، بينما تعمل صور أخرى من المادة العضوية أكثر ثباتاً (مثل: دبال التربة، السماد الحيواني، حمأة المجارى، السماد العضوى الصناعى «الكمبوست») على المدى الطويل كمصادر بطيئة لانطلاق الفوسفور. وتحدث عادة عملية المعدنة - تحول الفوسفور العضوى إلى فوسفور غيرعضوى - بسرعة إذا كانت نسبة «الكربون: الفوسفور» فى المادة العضوية أقل من ٢٠٠ : ١، بينما تحدث عملية التثبيت فى صورة عضوية - وهى اندماج الفوسفور فى الكتلة الحيوية الميكروبية - عندما تكون نسبة «الكربون: الفوسفور» أكبر من ٣٠٠ : ١ وعند هذا الوقت، فليس من الواضح عما إذا كانت النباتات يمكنها أن تمتص مباشرة الفوسفور العضوى الذائب أو أن الأمر يتطلب فعلاً إنزيمياً يقوم بتكسير جزيئات الفوسفات من المركب العضوى قبل عملية الامتصاص.

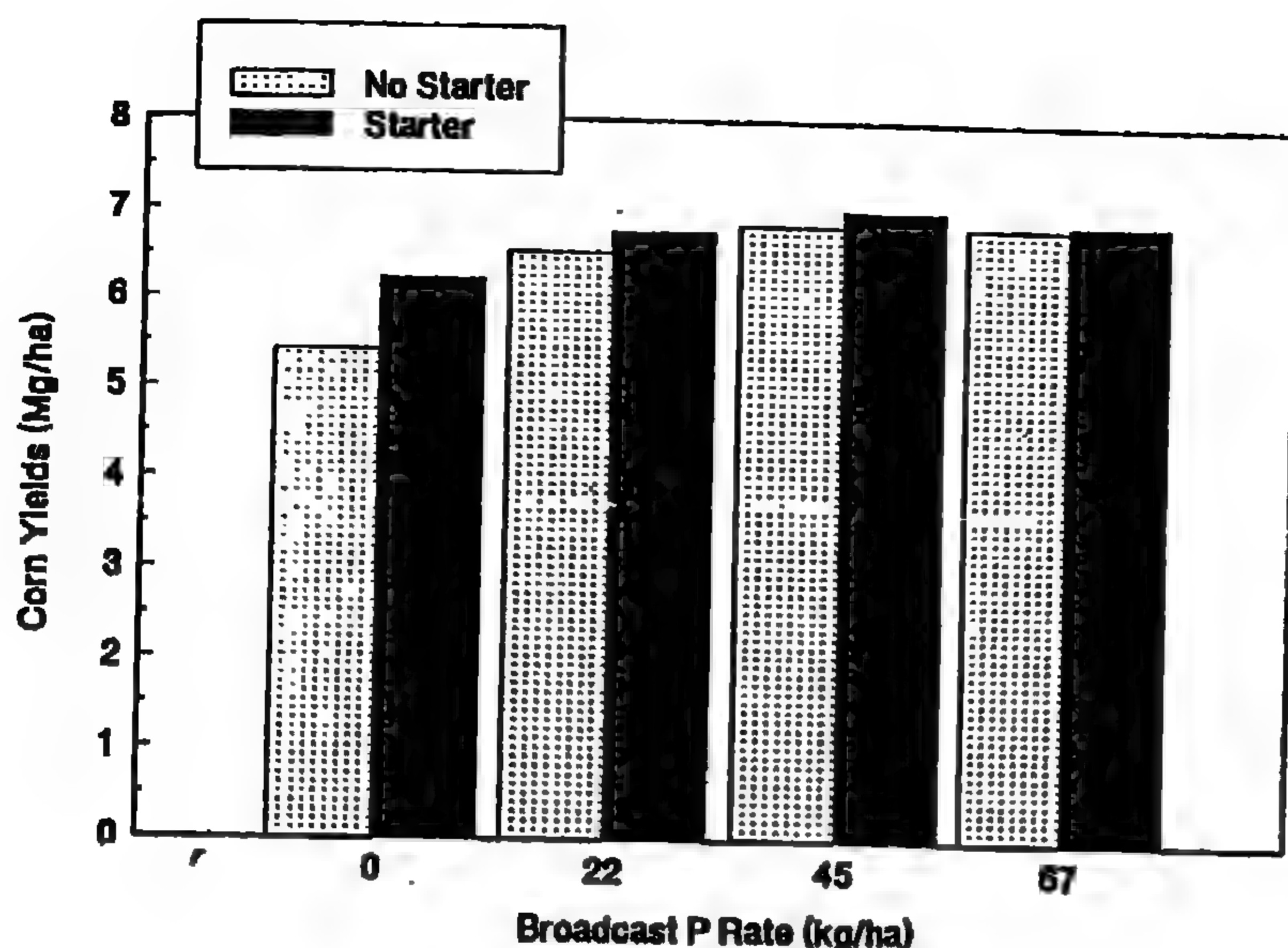
٥ - ٢ - ٣ إضافات الفوسفور للأراضى :

إن النوبان المنخفض للفوسفور فى كثير من الأراضى يعنى أن المحلول الأرضى يجب تعويضه بصفة متكررة وبسرعة بفوسفور ذائب إذا كان المطلوب هو الحصول على محصول كافٍ. وفى حالة الأراضى عالية الخصوبة، يمكن للتربة فى المعتاد أن توفر وتمد النباتات بكل الفوسفور اللازم لها. والحاجة إلى فوسفور إضافى يمكن تقديرها بسهولة عن طريق اختبارات التربة. والخلاصة، أن اختبارات التربة تشمل مقارنة الفوسفور الميسر فى التربة والمقدر بمستخلص كيميائى، مع القيم الحرجة المقدرة من البحوث على المدى الطويل (شكل ٥ - ٦). وكلما تقل قيمة اختبار التربة فى الفوسفور، يزداد احتمال استجابة المحصول لتحقيق ربحية اقتصادية للتسميد الفوسفاتى. وبالمثل، وفى الحقول التى لها أرقام اختبار تربة أعلى من الحد الحرج، سوف لا تؤدي على الأرجح إضافة أسمدة الفوسفور إلى زيادة فى المحصول، كما أن إضافة الأسمدة المعدنية، أو الحيوانية، أو مصادر الفوسفور الأخرى إلى

الحقول التي لها أرقام اختبار تربة أعلى من الحد الحرج ليست ضرورية وتزيد من إمكانية فقد الفوسفور الذائب والفوسفور المرتبط بالرواسب إلى المياه السطحية. والاستثناء الوحيد لذلك هو استخدام كميات صغيرة من السماد في هيئة «مشجع» أو «بادئ» يوضع قرب البذرة أو البادرة عند الزراعة، وهذه الممارسة وجد أنها تؤدي إلى نمو نباتي مبكر وأكثر قوة، وأحياناً تزيد المحصول الناتج (شكل ٥ - ٧). واستجابة النبات لسماد المحقن «البادئ»، حتى في الأراضي ذات المحتوى العالي في الفوسفور، يمكن تفسيرها عن طريق معدلات المعدنة الأقل (المنخفضة) للفوسفور العضوي وانتشار الفوسفور الذائب الذي يحدث مبكراً في فصل النمو عندما تسود درجة حرارة التربة الباردة. وعندما تدفأ الأراضي، تحدث التفاعلات الميكروبية والكيميائية بسرعة أكثر ويزداد تزويد جذور النباتات بالفوسفور إلى المستويات المقبولة.



شكل ٥ - ٦ العلاقة بين فوسفور التربة، والمحصول، واحتمال حدوث مشاكل بيئية بسبب الزيادة في فوسفور التربة (L = منخفض ، M = متوسط ، H = مرتفع).



شكل ٥ - ٧ تأثير السماد "البادئ" على محصول الذرة . النتائج لدراسة لمدة ٢٠ سنة في ولاية Iowa لمقارنة استخدام سماد الفوسفور "البادئ" مع معدلات مختلفة للفوسفور المضاف نثراً عن فترات ثلاث سنوات . (Young e al ., 1985.)

وكثير من الأراضي، بسبب انخفاض الفوسفور في مادة الأصل، وانخفاض محتواها في المادة العضوية، أو بسبب الزراعة المكثفة، لا تحتوي على فوسفور كافٍ للنمو المرغوب للنبات. وعلى ذلك، فالتسميد بأسمدة الفوسفور غير العضوية أو استخدام الأسمدة الحيوانية، أو حمأة المجارى، أو الأسمدة العضوية الصناعية، أو منتجات المخلفات الأخرى يعدّ أمراً ضرورياً. وتنتج أسمدة الفوسفور التجارية عن طريق عمليات صناعية تشمل تفاعلات خام الفوسفات (مثل الفلور أباتيت، أو «صخر الفوسفات») مع حامض الكبريتيك (السوبر فوسفات العادى، ٩٪ فوسفور)، أو حامض الفوسفوريك (سوبر فوسفات ثلاثى، ٢٠ - ٢٢٪ فوسفور)، أو حمض فوسفوريك مع الأمونيا (فوسفات أحادى الأمونيوم، ٢١٪ فوسفور، فوسفات ثنائى الأمونيوم، ٢٣٪ فوسفور). ويمكن أن يستخدم أيضاً مباشرة صخر الفوسفات (١٣ - ١٧٪ فوسفور) كسماد فوسفاتى بالرغم من انخفاض نوبانه ، وفى هذه الحالة لابد من

إضافة معدلات عالية من صخر الفوسفات لتوفير فوسفور ميسر بدرجة كافية. ويشتمل جدول ٥ - ٢ على نسبة الفوسفور في المصادر العضوية وغير العضوية الشائع استخدامها.

والأسمدة الحيوانية، وحمأة المجارى، والأسمدة العضوية الصناعية المضافة إلى الأراضي الزراعية كجزء من عمليات التخلص من المخلفات، تحتوى على تركيزات منخفضة نسبياً من الفوسفور (٠.١ - ٣.٠٪). وبالرغم من ذلك، لو أخذنا في الاعتبار أن هذه المخلفات العضوية تستخدم عادة بكميات كبيرة وبصفة متكررة، وأن كميات الفوسفور التي تزال فعلاً من التربة في محاصيل الحبوب أو العلف صغيرة نسبياً، فإن هذه المخلفات العضوية يمكنها تزويد المحاصيل باحتياجاتها من الفوسفور، ويمكنها أيضاً (كما ذكرنا سابقاً) أن ترفع فوسفور التربة إلى مستويات عالية جداً خلال سنوات قليلة (شكل ٥ - ٨). ولسوء الحظ، بسبب تكاليف النقل والمناولة، فإن معظم العمليات الزراعية المعتمدة على الحيوانات لها بدائل قليلة لإضافات الأسمدة الحيوانية للأرض في خلال مسافة قصيرة من المنطقة التي تتربى وتنمو فيها هذه الحيوانات. وهذا يؤدي على المدى الطويل إلى رفع فوسفور التربة ليصل إلى مستويات زائدة، حيث أن معدلات الإضافة النموذجية لهذه الأسمدة الحيوانية تضيف عادة الفوسفور بمعدلات تفوق احتياجات المحصول من هذا العنصر. وعندما تكون هذه الأراضي قريبة من جسم مائي حساس، فإن التأثيرات البيئية المحتملة تصبح قضية جاهزة لاتخاذ إجراءات حاسمة بشأنها. وبالمثل، فبالنسبة للبلديات، فإن البدائل الميسرة لإضافة المخلفات العضوية إلى الأراضي (دفنها في حفر في الأرض، إغراقها في المحيطات، حرقها) محدودة ومكلفة، وقد يكون لها تأثيرات بيئية خطيرة مقارنة بالبرامج السليمة لإضافتها للأراضي.

والمخلفات غير العضوية من العمليات الصناعية مثل خبث المعادن القاعدي (٣ - ٥٪ فوسفور) - ناتج ثانوي لصناعة الحديد والصلب - أو رماد الفحم الحجري (أقل من ١٪ فوسفور) - ناتج ثانوي لصناعة الطاقة الكهربائية - يمكن أن تضيف كميات كبيرة من الفوسفور الكلى إلى الأراضي. وفي حين أن نوبان المخلفات الصناعية، وبالتالي تيسرها للنبات عادة أقل من الأسمدة التجارية والأسمدة الحيوانية،

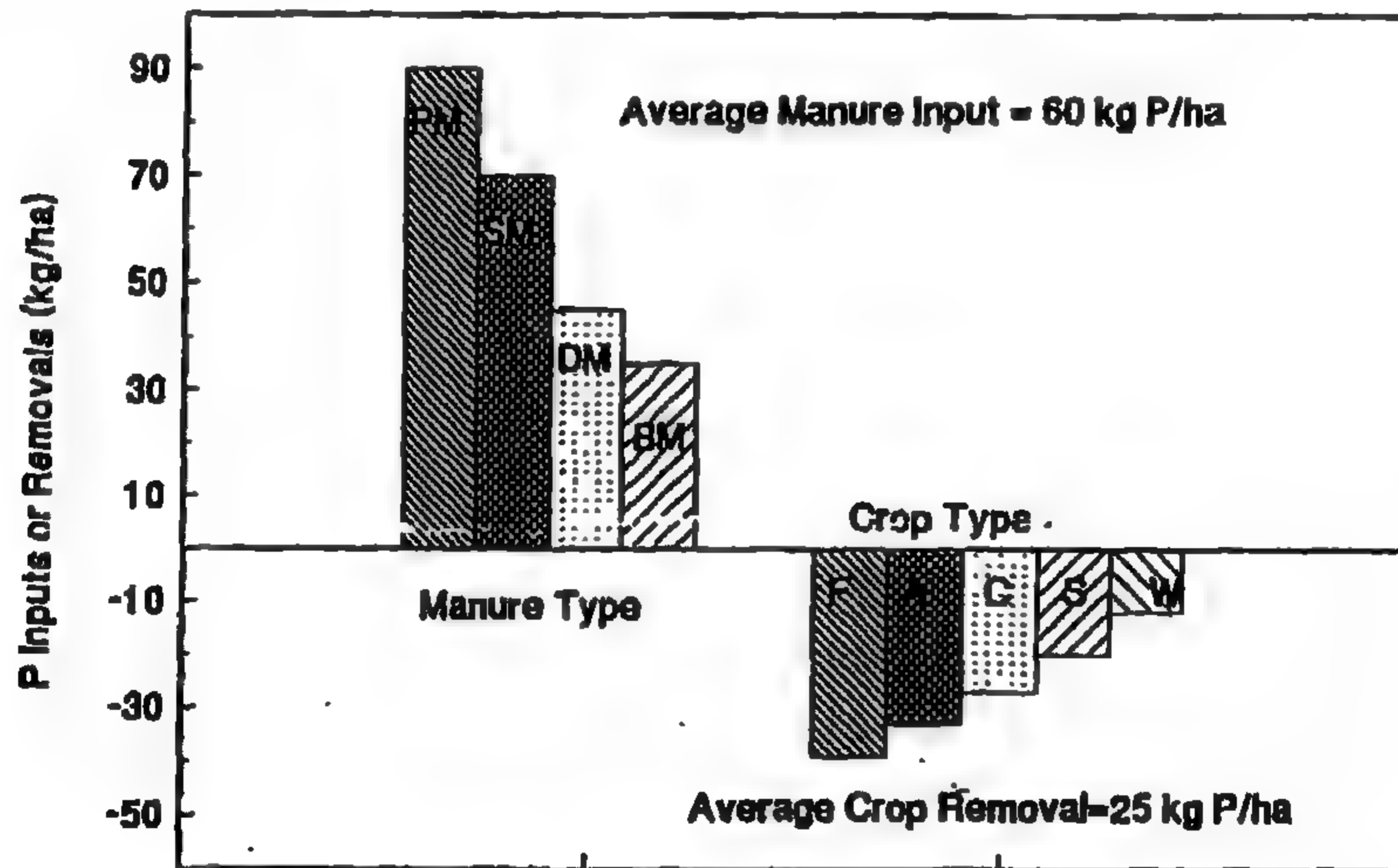
جدول ٥ - ٣ مصادر الفوسفور العضوية وغير العضوية التي تستخدم في إنتاج الماصيل.

المصدر وتركيبه الكيميائي	%P	%P ₂ O ₅	عناصر أخرى
أسمدة تجارية:			
سوبر فوسفات عادي	١٠ - ٧	٢٢ - ١٦	(١٠ - ٨) S , Ca
سوبر فوسفات ثلاثي	- ١٩	٥٢ - ٤٤	Ca
فوسفات أحادي الأمونيوم	٢٣	٦١ ,	(١٢) N
فوسفات ثنائي الأمونيوم	٢٦	٥٢	(٢١) N
يوربيا - فوسفات أمونيوم	٢٣	٢٨	(٢٨) N
أمونيوم بولي فوسفات (سائل)	١٢	٢٤	(١١) N
محفز الفوسفات:	١٥		معظمها شوائب:
الولايات المتحدة (فلوريدا)	١٤	٢٢	CO ₃ , F, Si, Fe, Al
البرازيل	١٥	٢٥	
المغرب	١٤	٢٢	
الاتحاد السوفيتي سابقا.	١٧	٢٩	
مصادر عضوية:			
سماد أبقار اللحم.	٠.٩	٢.١	Mg, Ca, S, K, N
سماد أبقار اللبن.	٠.٦	١.٤	عناصر دقيقة
سماد الدواجن.	١.٨	٤.١	
سماد الخنزير	١.٥	٢.٥	
حماة مفضضة هوائية	٢.٢	٧.٦	
حماة مفضضة لاهوائية	٢.٦	٨.٢	
كمبوست الحماة	١.٢	٢.٠	

إن إضافة هذه المخلفات الصناعية للأراضي أصبحت بدرجة كبيرة بديلاً مرغوباً من لناحية الاقتصادية بدلاً من التخلص منها بالدفن في حفر أرضية ، وينبغي على برامج الإدارة التي تستخدم هذه المواد كمحسنات للتربة أن تأخذ أيضاً في اعتبارها تأثير هذه المخلفات الصناعية على رقم حموضة التربة والأملاح الذائبة، وعلى وجود العناصر السامة للنبات (مثل: البورون، الصوديوم)، وكذلك على مصير المعادن الثقيلة غير الضرورية الموجودة في هذه النواتج الثانوية على المدى الطويل.

٥ - ٣ تحويلات الفوسفور في الأراضي :

إن الهدف الأساسي لإدارة فوسفور التربة هو المحافظة على تركيز فوسفور محلول التربة عند قيمة كافية لنمو النبات، وفي نفس الوقت تقليل - إلى أدنى درجة - حركة الفوسفور الذائب، والفوسفور العضوي، والفوسفور المرتبط بالرواسب إلى



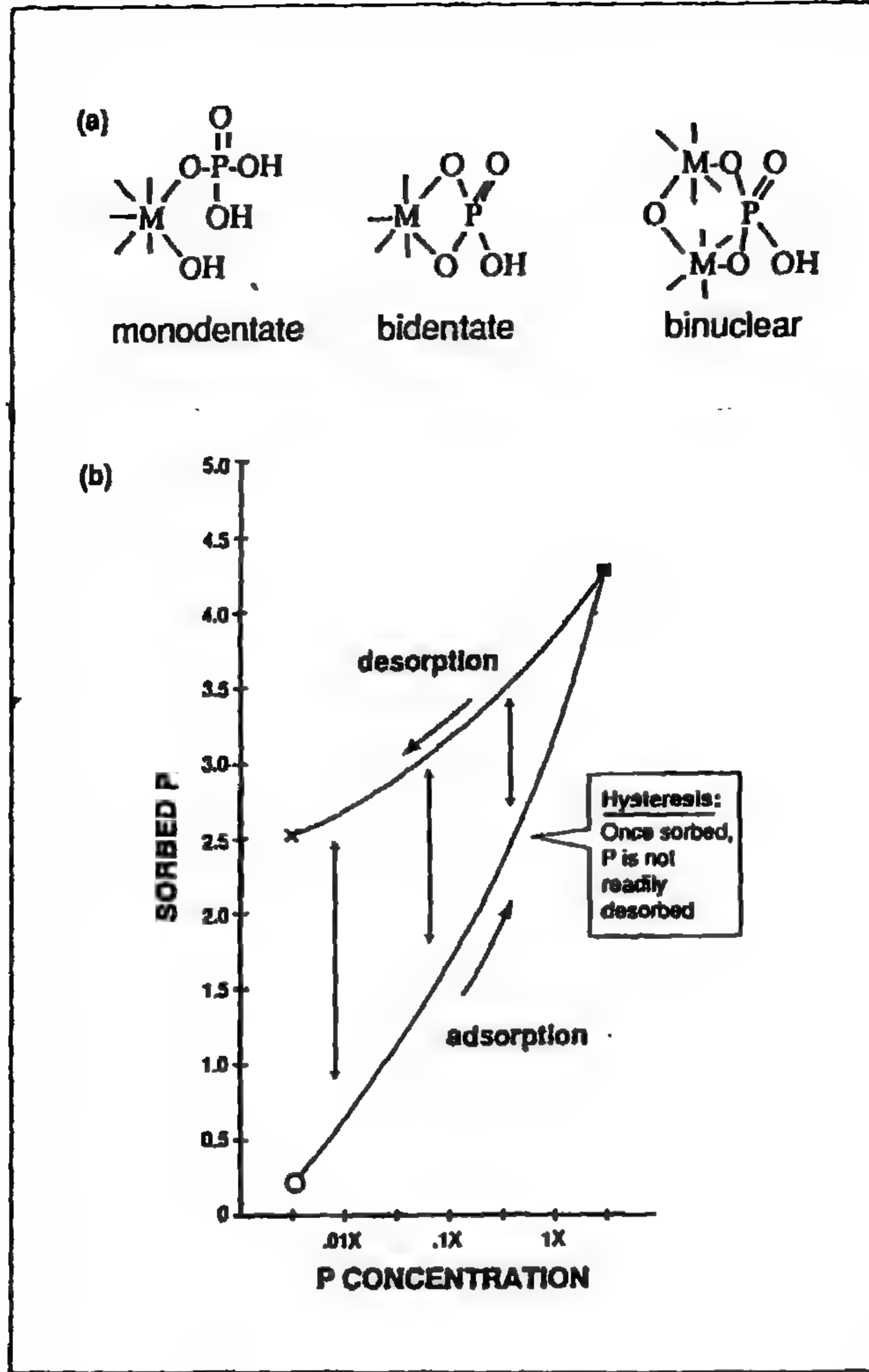
شكل ٥ - ٨ مقارنة بين مدخلات الفوسفور النموذجية من الأسمدة الحيوانية وكمياته المزالة في محصول الحبوب أو العلف . (PM = سماد النواجن ، SM = سماد الخنزير ، DM = سماد ماشية اللبن ، BM = سماد ماشية اللحم، F = العُكْرُش ؛ عشب ، A = البرسيم الحجازي، G = الذرة ، S = فول الصويا ، W = القمح .).

أجسام المياه الحساسة. وإن ممارسات الإدارة السليمة للتربة والنبات والمياه - مثل: تقنيات التسميد، توقيت التسميد، الدورة الزراعية، الحرث، الري، الصرف - التي تؤدي إلى تعظيم كفاءة الاستفادة للفوسفور من الأسمدة المعدنية والمخلفات تمثل التطبيقات العملية للمعرفة الأساسية المكتسبة من فهم دورة فوسفور التربة.

وبالنسبة لأغراض الإنتاج النباتي، فإن هذه الممارسات تركز على ضمان تعويض سريع لمحلل التربة لتحقيق تغذية مثالية بالفوسفور، وعلى ضمان أدنى فقد لفوسفور التربة وذلك لمنع تدهور التربة - على المدى الطويل - ومن ثم إنتاجيتها. ويرغم تشابه الممارسات الزراعية في كثير من الأوجه والصلات، فإن ممارسات الإدارة البيئية لفوسفور التربة ينبغي أن تكون مكثفة، ويكون لها حيز أقل من الخطأ بسبب المستويات المنخفضة من الفوسفور اللازمة للتعجيل بحدوث عملية التشبع الغذائي. وفي كل من الحالتين، فإن المعرفة الأساسية للتحويلات الكيميائية والميكروبيولوجية والفيزيائية التي تحدث لفوسفور التربة ضرورية من أجل ابتكار أساليب تحقق كلا الهدفين. وتشمل التحويلات الرئيسية الهامة للفوسفور غير العضوي تثبيت الفوسفور في صور غير ذائبة عن طريق تفاعلات الامصاص والترسيب، ونويان الفوسفور عن طريق تفاعلات عكس الامصاص (الانطلاق) والانحلال المعدني. وتحويلات الفوسفور العضوي في التربة عبارة عن تفاعلات معدنة - تثبيت في صورة عضوية بواسطة الكائنات الدقيقة في التربة وعن طريق امتصاص الفوسفور بواسطة جذور النبات وحده أو بالارتباط مع فطر الميكوريزا.

٥ - ٣ - ١ ادمصاص وانطلاق فوسفور التربة :

يشير ادمصاص إلى إزالة الفوسفور الأيوني ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}) من المحلول بواسطة تفاعل كيميائي مع الجزء الصلب من التربة، وهو مصطلح عام يشير إلى تكوين رابطة كيميائية بين أنيونات الفوسفات والجزء الغروي من التربة، ولكنه لا يحدد ميكانيكية اجتياز الفوسفور، بالرغم من افتراض أنواع عديدة لعملية الارتباط (شكل ٥ - ١٩). والمكونات الأساسية في التربة والرواسب المسؤولة عن تفاعلات ادمصاص هي: الطين، أكاسيد أو هيدروكسيدات الحديد والألمنيوم، كربونات الكالسيوم، المادة



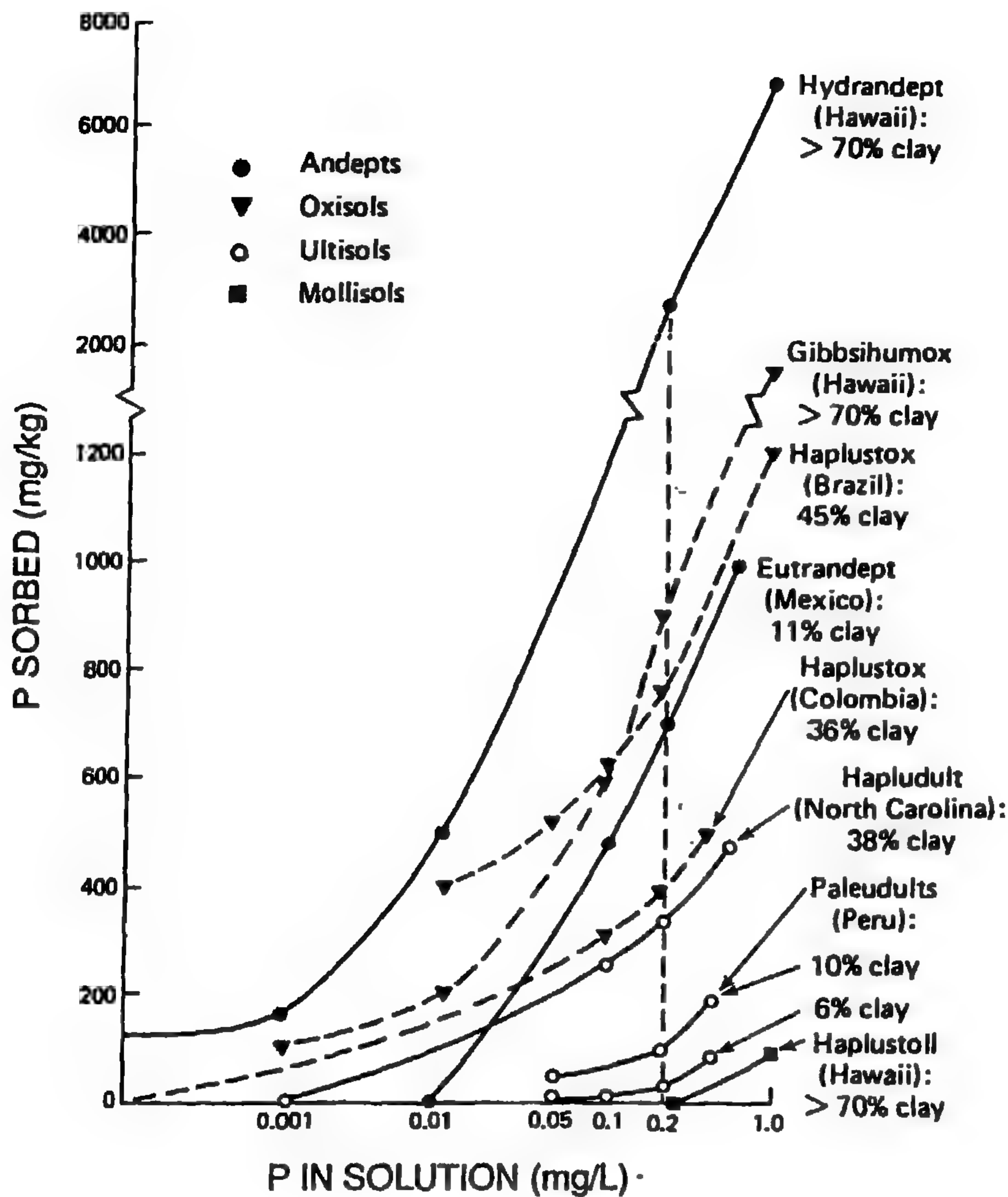
شكل ٥ - ٩ عمليات امتصاص الفوسفور وانطلاقه (عكس الامتصاص) في الأراضي (a) آلية مقترحة لامتصاص الفوسفور بواسطة مكونات التربة (M تمثل أيون معدن الحديد والألومنيوم في الطين أو الأكاسيد). (b) منحنى الامتصاص ومنحنى عكس الامتصاص للفوسفور؛ ويتضح منهما ظاهرة "التردد". عندما يضاف الفوسفور إلى التربة - كما هو الحال في التسميد - ويزداد تركيز P في المحلول الأرضي (x) (من ٠,٠١ إلى ١x)، يزداد P الممتص تبعاً لذلك. وبالرغم من ذلك، هناك نقص في المعكوسية الكاملة لعملية عكس امتصاص P من الطور الصلب، ويشار إليها بظاهرة "التردد" وذلك عندما ينقص تركيز P في المحلول الأرضي من ١x إلى ٠,٠١ بواسطة امتصاص النبات أو الفسيل.

(Fixen and Grove, 1991.)

العضوية. ويعتبر الفوسفور المدمص - عادة - بطيء التيسر وقادراً على تعويض محلول التربة بالتدريج استجابة للامتصاص بواسطة النبات. ويستخدم مصطلح «فوسفور التربة المتحرك» «اللابايل» لوصف ذلك الجزء من الفوسفور المدمص الذي يكون جاهزاً في الحال «ميسراً بدرجة فورية» للامتصاص بواسطة النبات ويمكن استخلاصه بسهولة وقياسه، مع الفوسفور الذائب، بواسطة اختبار كيميائي للتربة.

وتشير عملية عكس الادمصاص إلى تحرير أو انطلاق الفوسفور من الطور الصلب إلى الطور السائل. وتحدث عملية عكس الادمصاص في الأراضي عندما يستنفذ النبات الفوسفور الذائب عن طريق الامتصاص، وتنقص تركيزاته في المحلول الأرضي إلى مستويات منخفضة جداً، كما تحدث أيضاً في النظم المائية حينما يتفاعل الفوسفور المرتبط بالرواسب مع المياه الطبيعية ذات التركيزات المنخفضة من الفوسفور. جزء بسيط فقط من الفوسفور المدمص في معظم الأراضي يعتبر قابلاً للانطلاق بسرعة. ويثبت معظم الفوسفور المضاف من الأسمدة المعدنية أو العضوية بسرعة ويصير في حالة غير عكسية، ولا يخضع لعملية عكس الادمصاص، وهذه الظاهرة يشار إليها «تردد الادمصاص» (شكل ٥ - ٩ ب). وتعكس ظاهرة التردد تحولات الفوسفور الذائب إلى صور غير ميسرة بدرجة كبيرة عن طريق عمليات مختلفة مثل: ترسيب الفوسفور في صورة مركبات غير ذائبة، واحتجاز الفوسفور بواسطة المترسبات الأخرى (مثل أكاسيد الحديد والأكومنيوم)، والانتشار البطيء للفوسفور في الأطوار الصلبة في الأراضي. ولقد أوضحت الدراسات أن معدل انطلاق الفوسفور سريع جداً في البداية، إلا أنه في الغالب يتناقص بدرجة ملحوظة خلال وقت قصير. ومن وجهة النظر البيئية، فإن هذا يقترح أن سقوط الأمطار الكثيف والقصير قد يستنفذ بسرعة الجزء القابل للانطلاق من فوسفور التربة ويعيد توزيع هذا الفوسفور في مياه الأمطار السارية.

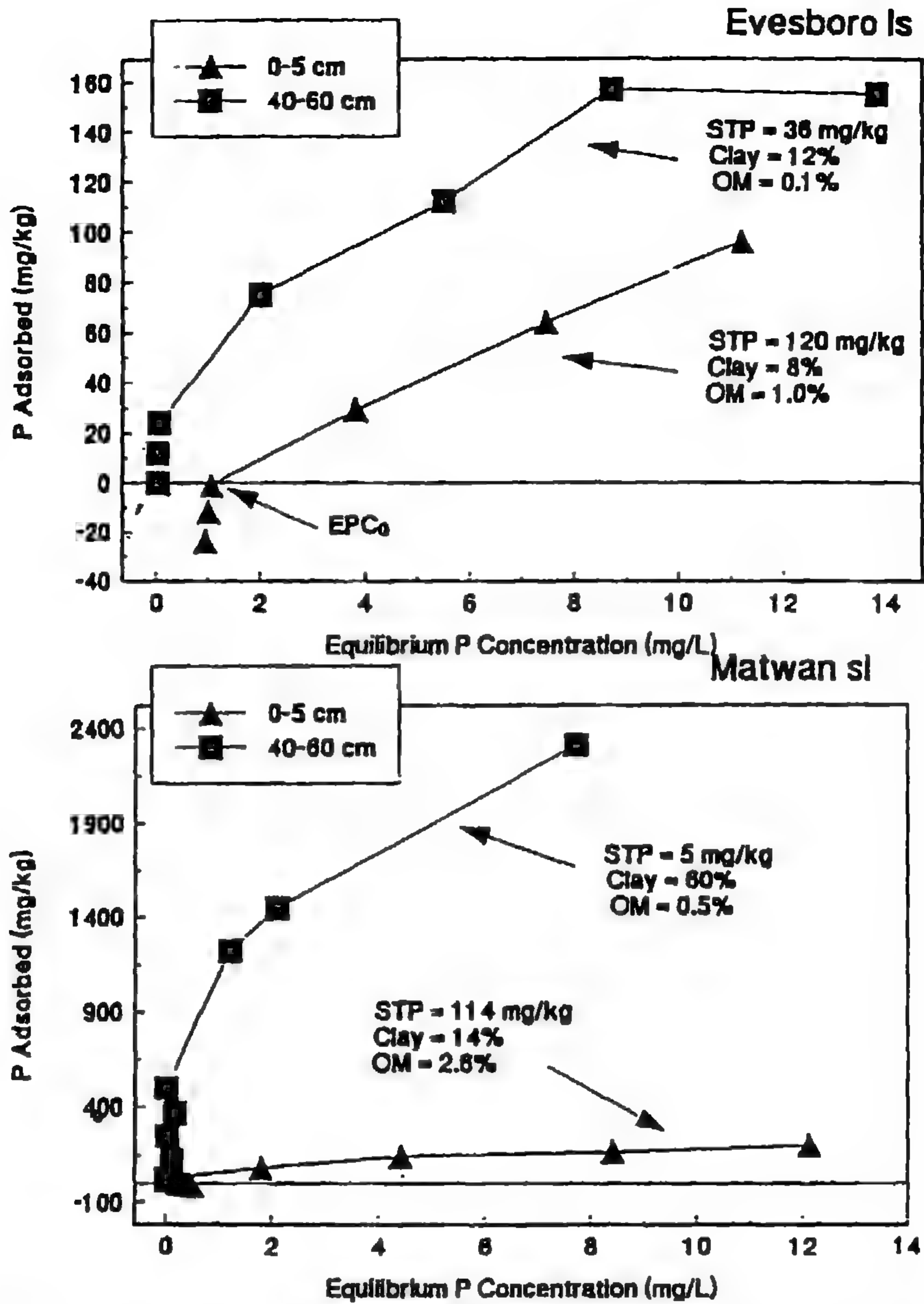
وتختلف الأراضي والرواسب كثيراً في قدرتها على ادمصاص وانطلاق الفوسفور. وبصفة عامة، فالأراضي عالية التجوية سوف تدمص فوسفور أكثر، وهذا راجع إلى محتواها الأكبر من الطين وأكاسيد الأكومنيوم والحديد. وكما هو موضح في شكل ٥ - ١٠، فكمية الفوسفور المدمص التي يجب أن تحدث للوصول إلى تركيز فوسفور في المحلول كافٍ لنمو النبات (٢٠ جزء في المليون) حوالي ٢٥٠٠ ملليجرام



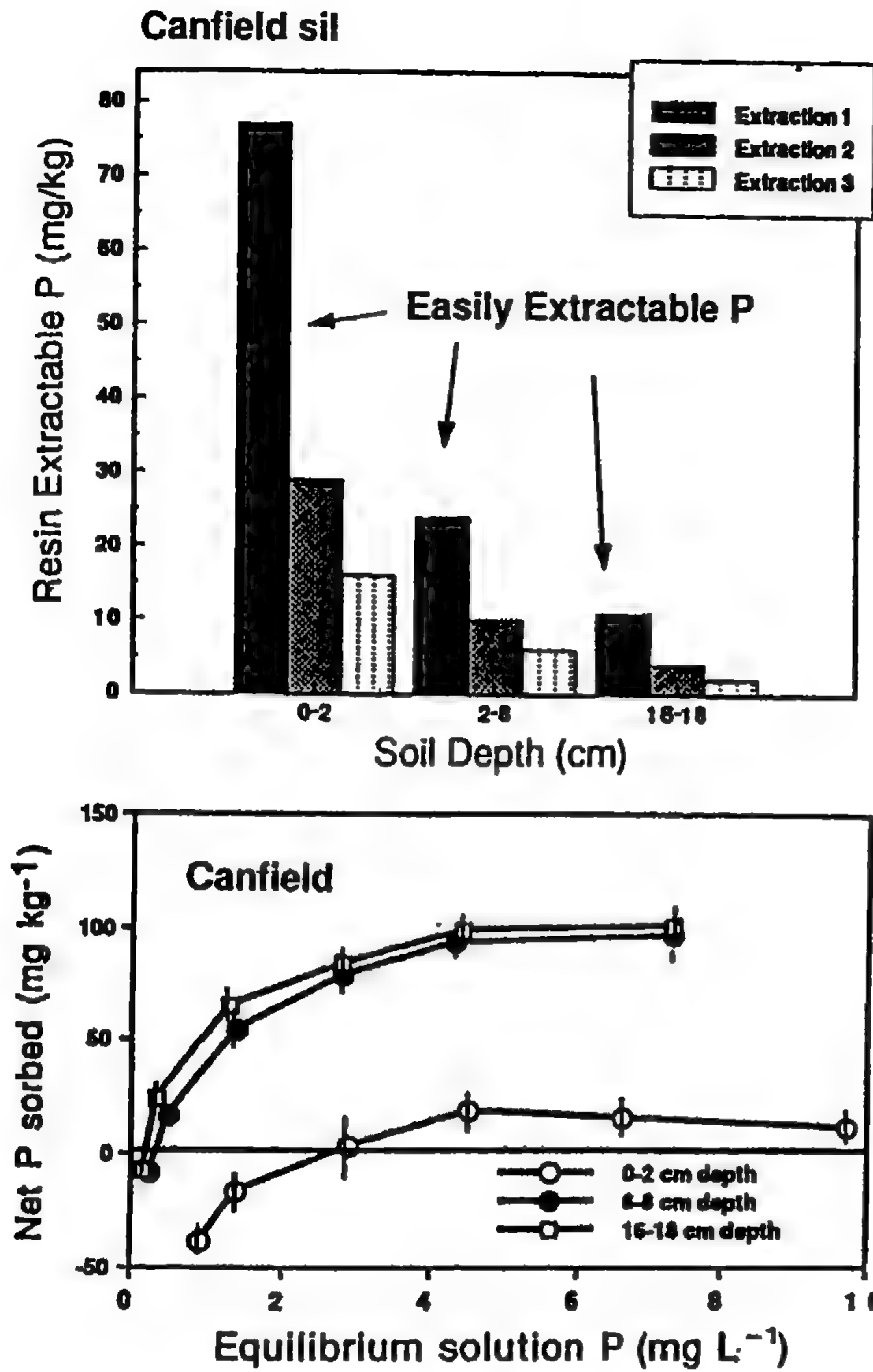
شكل ٥ - ١٠ الاختلافات في سعة امتصاص الفوسفور بواسطة الأراضي بين أربع مجاميع أراضي . يمثل الخط الرأسى المتقطع كمية الفوسفور التى يجب أن تدمص للوصول فى المحلول إلى مستوى كاف لنمو معظم المحاصيل (٢ ، ٠ ملليجرام / لتر) .
(Sanchez and Uehara, 1980.)

فوسفور/ كيلو جرام فى أراضى هاواى (إنسيبتيسول) التى تحتوى على ٧٠٪ طين، مقارنة بحوالى ٥٠ ملليجرام فوسفور/ كيلو جرام تربة (أولتيسول) فى بيرو التى تحتوى على ٦٪ طين. ويختلف الامصاص بدرجة ملحوظة مع عمق التربة، كما يتأثر بالعمليات الزراعية التى تُغيّر مستويات الفوسفور الميسر فى التربة، ورقم حموضة التربة، ونسبة المادة العضوية مثل: عمليات التسميد غير العضوى، إضافة الجير، التسميد العضوى، عمليات الحرث القليل. ويوضح شكل ٥ - ١١ أهمية آفاق تحت التربة فى عملية امتصاص الفوسفور وغسيله فى أرضين من أراضى الهضبة الساحلية للأطلنطى فأرض إفيسبورو الرملية فى آفاقها السطحية أو آفاق تحت التربة، لها قدرة امتصاص خلال قطاع التربة أقل بكثير مقارنة بأرض ماتاوان الطمي رملية، والتى لها أفق تحت التربة يحتوى على ٦٠٪ طين. وتعكس أرقام اختبارات التربة العالية للفوسفور فى الآفاق التحتية لأرض إفيسبورو حركة الفوسفور الكبيرة فى القطاعات مع تراكم بسيط للطين. ويمكن أيضا لممارسات الحرث التى تؤثر فى توزيع الفوسفور أن تغير من امتصاص وانطلاق الفوسفور. كما أن الزراعة بدون حرث، وفيها لا يندمج الفوسفور فى التربة، تؤدي فى الغالب إلى تكوين طبقات مميزة من الفوسفور فى الأراضى، وتصير قيم الفوسفور عالية جدا فى السنتيمترات القليلة العليا. وطبقا لما هو موضح فى شكل ٥ - ١٢؛ فإن هذا يمكن أن يؤدي ليس فقط إلى انخفاض كبير فى قدرة امتصاص الفوسفور فى هذا العمق (صفر - ٢ سم)، ولكن يؤدي أيضا إلى وجود مستويات عالية جدا للفوسفور السهل الاستخلاص، مقارنة بباقي الأفق العلوى للتربة (٦ - ١٨ سم)، وهذا الوضع يمكن أن ينتج عنه مستويات عالية للفوسفور الذائب فى مياه الأمطار السارية.

وبصفة عامة، الأراضى المنخفضة فى الفوسفور، الحامضية والمرتفعة فى الطين أو أكاسيد الحديد والألومنيوم، وخصوصا الأكاسيد غير المتبلورة، لها أعلى سعة لامتصاص الفوسفور. وفى الأراضى الجيرية، فإن كربونات الكالسيوم، وأكاسيد الحديد هى العوامل السائدة التى تتحكم فى امتصاص الفوسفور. والأراضى الرملية لها سعة منخفضة لامتصاص الفوسفور وهى أكثر الأراضى حساسية أى سريعة التأثير برشح الفوسفور، وهى تشبه فى ذلك الأراضى الغنية بالمادة العضوية (أراضى



شكل ٥ - ١١ معادلات ادمصاص الفوسفور لعينيتين اراضى من هضبة ساحل الأطلسى ، مأخوذتين على عمقين مختلفين . يمثل العمق صفر - ٥ سم منطقة التفاعل الأعظم بين ماء المطر السارى وفوسفور التربة ، ويمثل العمق ٤٠ - ٦٠ سم احتمال ادمصاص الفوسفور بواسطة تحت التربة (اختبار التربة = Mehlich 1، ٠.٠٥ ع حمض هيدوكلوريك + ٠.٠٢٥ ع حمض كبرتيك) EPC₀ عبارة عن تركيز الفوسفور فى المحلول عند الاتزان عندما يتساوى معدل ادمصاص الفوسفور مع معدل انطلاقه. (Sims, unpublished data.)



شكل ٥ - ١٢ مقارنة بين الفوسفور سهل الاستخلاص ومعادلات ادمصاص الفوسفور في
الاجزاء العليا والسفلى في طبقة الأرض العليا النطمي سلتية من Canfield
(Guertal et al., 1991.)

البيت، الأراضي المضاف إليها أسمدة عضوية بكثافة عالية، ... إلخ) حيث تُشجع المادة العضوية الذائبة حركة الفوسفور عن طريق تغطية (تغليف) السطوح المسؤولة عن ادمصاص الفوسفور. وبالإضافة إلى ذلك، فقد وُجد أن مركبات الفوسفور العضوية المعقدة ترشح بسرعة كبيرة ولأعماق أكبر مقارنة بالفوسفور غير العضوي الذائب، وهذا يؤدي إلى التساؤل عن حركة تحت السطح للفوسفور في المياه السطحية بواسطة الانسياب الجانبي للمياه الجوفية، بصفة خاصة في الأراضي ذات الصرف الصناعي.

ويمكن تقدير ادمصاص الفوسفور بواسطة الأراضي كمياً باستخدام معادلات رياضية تربط كمية الفوسفور المحتجز بالطور الصلب (P_{ads}) بتركيز الفوسفور في المحلول عند الاتزان، عندما تتوقف تفاعلات ادمصاص (P_{eq}). ويمكن الحصول على هذه النتائج عن طريق تفاعل التربة مع محاليل تتدرج في تركيزها الابتدائي للفوسفور من صفر إلى ٢٠ ملليجرام P / لتر. ويشار إلى رسم العلاقة بين كمية الفوسفور المدمص مع تركيز الفوسفور عند الاتزان «بمعادلات ادمصاص» كما هو موضح في شكل ٥ - ١١، وشكل ٥ - ١٢. وأكثر العلاقات استخداماً هي معادلتى لانجمير وفرندليتش، ويمكن التعبير عنهما رياضياً كالآتي:

$$P_{ads} = \frac{K P_{eq}^b}{1 + K P_{eq}} \quad (5 - 1)$$

$$P_{ads} = K P_{eq}^{1/n} \quad (5 - 2)$$

في معادلة لانجمير فإن العامل K يصف طاقة ربط الفوسفور بالطور الصلب، والعامل b يقدر الكمية العظمى من الفوسفور التي يمكن أن تدمص. وبالنسبة لمعادلة فرندليتش، فإن العاملين n, k عبارة عن ثوابت تجريبية تختلف تبعاً لخواص التربة. وبالرغم أن هاتين المعادلتين لم تقدمتا معلومات آلية تُفسر عمليات ادمصاص الفوسفور، إلا أنهما مفيدتان في مقارنة سعة / أو قدرة ادمصاص فيما بين الأراضي. ولقد استخدمتا أيضاً لتقريب كمية الفوسفور التي يجب أن تدمص بواسطة الأراضي المختلفة؛ وذلك لرفع تركيز الفوسفور في المحلول الأرضي عند الاتزان إلى القيمة المرغوبة أو القيمة العظمى.

وهناك عامل آخر مفيد يمكن الحصول عليه من معادلات الادمصاص هو EPC_0 أو تركيز الفوسفور المتزن عند ادمصاص صفر. وتمثل قيمة EPC_0 تركيز الفوسفور المتزن في المحلول بواسطة الطور الصلب (التربة، والرواسب) عندما يتساوى معدل الادمصاص مع معدل الانطلاق. وتستخدم قيم EPC_0 لوصف قدرة الأراضي السطحية، ورواسب الجداول، ومادة شواطئ الجداول التي في حالة تلامس مع مياه الأمطار السارية أو مياه الجداول - لكى تزيل الفوسفور من المياه السارية أو تطلقه فيها. فحبيبات التربة أو الرواسب ذات قيم EPC_0 العالية والتي تلامس مياه ذات محتوى فوسفور منخفض (مثل مياه الأمطار، المياه السارية تحت السطح) سوف تطلق الفوسفور فى هذه المياه ؛ ويحدث العكس لو كان الطور الصلب له EPC_0 منخفض، فيمكنه أن يخفض تركيز الفوسفور فى مياه الجداول أو مياه الأمطار السارية، وهذا بالتالى يقلل احتمال حدوث عملية التشبع الغذائى فى اتجاه مجرى الجدول. وإن قيم EPC_0 المرتفعة للسنتيمترات القليلة العليا لتربة إفيسبورو الموضحة فى شكل ٥ - ١١ (وهى حوالى واحد ملليجرام / لتر)، وتربة كانفيلد الموضحة فى شكل ٥ - ١٢ (حوالى ٣ ملليجرام / لتر) توضح أن كلاً من هاتين التريبتين ذات المحتوى العالى فى الفوسفور سوف ينطلق منهما الفوسفور الذائب بسرعة وبسهولة إلى مياه الأمطار السارية.

٥ - ٣ - ٢ ترسيب فوسفور التربة :

يمكن تعريف عملية الترسيب بأنها تكوين مركبات غير ذائبة منفصلة فى الأرضى، ويمكن النظر إليها على أنها عكس عملية الذوبان المعدنى. وتشمل الصور الأكثر شيوعاً للفوسفور المترسب نواتج التفاعلات بين الفوسفور الذائب الأيونى وأيونات الكالسيوم والألومنيوم والحديد. وفى الأرضى الجيرية، حيث يكون رقم الحموضة مرتفع، والكالسيوم الذائب هو الكاتيون السائد، تؤدي إضافة الفوسفور الذائب فى البداية إلى تكوين فوسفات ثنائى الكالسيوم ثنائى التآدرت - $(Ca HPO_4 \cdot 2H_2 O)$ ، وهذا يتجول ببطء مع مرور الوقت إلى مركبات فوسفات أكثر ثباتاً مثل أوكتا

كالكسيوم فوسفات $[Ca_8 H_2(PO_4)_6 \cdot 5H_2O]$ ، وعلى المدى الطويل يتحول إلى مركب فلورو أباتيت $[Ca_{10} (PO_4)_6 F_2]$. إن كيمياء مركبات فوسفات الكالسيوم مفهومة جيداً، وقد درست باستخدام الرسومات البيانية لثبات المعادن، اعتماداً على دراسات الاتزان الكيميائي، وهذه يمكنها أن تتنبأ بالمعدن الذي يتحكم في نوبان فوسفور التربة. وباختبار تأثير الممارسات الزراعية أو خواص التربة على التغيرات الحادثة في رسومات ثبات المعادن يمكن أن تساعد المرء في فهم عملية تدوير الفوسفور في الأراضي على المدى البعيد. وفي الأراضي الحامضية، حيث يكون الألومنيوم والحديد الكاتيونات الرئيسية الذائبة، فإن فوسفات الحديد والألومنيوم هي المترسبات السائدة. وإن وجود أكاسيد حديد وألومنيوم متبلورة جزئياً أو غير بلورية في هذه الأراضي والتي يمكنها أن تثبت (تربط) الفوسفور كلما حدث لها تبلور، يجعل التعرف على الأطوار الصلبة المنفصلة للفوسفور المرتبط بالحديد (Fe - P) والفوسفور المرتبط بالألومنيوم أمراً صعباً. ويعتمد نوبان مترسبات الفوسفور في الأراضي الجيرية والأراضي الحامضية بدرجة كبيرة على رقم الحموضة. وبصفة عامة، يكون نوبان الفوسفور وبالتالي تيسره للنباتات (ومياه الأمطار السارية أو مياه الغسيل) أكبر مايمكن تحت الظروف ضعيفة الحموضة (رقم حموضة ٠ - ٦ - ٥). ولقد نجح تطبيق مبدأ الترسيب الكيميائي لعلاج البحيرات كافية التغذية إلى حد بعيد، ويشمل عادة إضافة الشبة (كبريتات الألومنيوم) إلى الجزء العلوي من المياه بغرض ترسيب الفوسفور في صورة فوسفات ألومنيوم. وبالإضافة إلى الترسيب المباشر للفوسفور الذائب، تكون الشبة طبقة من هيدروكسيد الألومنيوم على قاع البحيرة، وهي ذات قدرة تفاعلية عالية مع الفوسفور الذي ينطلق فيما بعد من رواسب البحيرة.

٥ - ٣ - ٣ معدنة فوسفور التربة وتثبيتته في صورة عضوية :

يمثل الفوسفور العضوي في الأراضي، أو الفوسفور المضاف إلى الأراضي عن طريق المخلفات العضوية أو بقايا المحاصيل مصدراً مهماً للفوسفور بالنسبة لنمو النبات، بالإضافة إلى أنه مصدر متوقع للفوسفور الذائب الذي قد يفقد في مياه

الأمطار السارية أو خلال عملية الغسيل. وتشير عملية المعالجة إلى التحلل الميكروبي للمركبات العضوية، والتي تؤدي إلى انطلاق الصور غير العضوية للعناصر الغذائية في محلول التربة. وعلى العكس تماماً، تعرف عملية التثبيت في صورة عضوية بأنها «ارتباط» العناصر المعدنية مثل الفوسفور بواسطة كائنات التربة الدقيقة في مركبات بيوكيميائية ضرورية لعملية البناء الميكروبي. ويتم التحكم في عملية معالجة الفوسفور العضوي بدرجة كبيرة بواسطة نسبة الكربون في المادة العضوية، والتي تعمل كمصدر للطاقة للكائنات الدقيقة المحللة. فنسب «الكربون: الفوسفور» العالية توفر طاقة كبيرة وتشجع النمو الميكروبي والذي بدوره يستهلك جميع الفوسفور الميسر؛ بينما نسب «الكربون: الفوسفور» المنخفضة يمكن أن تؤدي إلى زيادة في الفوسفور الذائب عن الاحتياجات الميكروبية وبذلك يكون الفوسفور ميسراً للامتصاص بواسطة النبات. وتلعب الظروف البيئية، كما ينتظر، دوراً مهماً في معدل ودرجة تحلل مركبات الفوسفور العضوية. وتعتبر الظروف المثلى لمعالجة الفوسفور العضوي مشابهة لتلك الخاصة بالنيتروجين العضوي في التربة (انظر الفصل الرابع). فبمجرد أن يتمعدن الفوسفور من المادة العضوية، فإنه يتحول بسرعة إلى صور غير عضوية مثل الفوسفور المدمص أو الفوسفور المترسب. وفي حالات كثيرة، تؤدي الإضافات المتكررة، وعلى المدى الطويل للأسمدة الحيوانية والمخلفات العضوية الأخرى للأراضي إلى زيادة الفوسفور الكلي غير العضوي في الأراضي، وليس الفوسفور الكلي العضوي (جول ٥ - ٢).

٥ - ٤ انتقال الفوسفور في البيئة :

لقد وجد أن جميع صور الفوسفور - الذائبة، والمدمصة، والمترسبة، والعضوية - حساسة للانتقال من الأراضي إلى الأجسام المائية. والحقيقة التي تعني أن أكبر احتياطي للفوسفور في بيئة الكرة الأرضية هو رواسب المحيط تعتبر برهاناً على أن «تسرب» الفوسفور من المصادر الجيولوجية عملية مستمرة. ومقاومة هذا الانتقال أمر ضروري لتلافي التأثيرات غير المرغوبة المصاحبة لعملية التشبع الغذائي، وأيضاً لتلافي

جدول ٥ - ٤ أمثلة للطرق المستخدمة في مقاومة فقد الفوسفور في مياه الأمطار السارية.

ممارسات الحراثة لنبات الذرة						
١٩٨٣		١٩٨٢	١٩٨١		١٩٨٠	
يولية	يونية	أكتوبر	يولية	يونية	سبتمبر	طريقة الحرث
فقد الفوسفور الكلى فى مياه الأمطار السارية (مجم / م ^٣)						
٢٢	١٧٥	٢٢٠	٢٣٠	٨	١٣٣	التقليدية
١١	٦٧	٣٧	٢٠	١ >	٢١	بالحفار
٥	٢١	٢٤	٢٠	١ >	٣٩	بدون حرث
إدارة بقايا عيدان الذرة						
النقص فى		P الميسر (جم/ساعة/م عرض)			عرض القطاع	
فقد						
P (%)		الخارج	الداخل	غطاء %	(م)	
٢١		٠.٧٧	٠.٩٨	٢٧	١ر٨	
٥٠		٠.٧٠	٠.٣٩	٥٠	١ر٨	
٨٢		٠.٤٨	٠.٦٣	٥٠	٢ر٧	
٧٢		٠.٥١	١ر٨٠	٥٠	٤ر٦	
علاج مياه المجارى باستخدام شريط من قصب حشيشة الكنارى كفلتر						
كفاءة P المزال من مياه المجارى (%)						
P الكلى		P الذائب		إدارة النبات الغطاء		
٧٠		٣٢		قطع متعدد ، بقايا المحصول		
٦٢		٢٠		قطع متعدد ، بقايا أوراق		
٥٠		٤		قطع مرة واحدة، بقايا أوراق		

(Andraski et al., 1985 , Albert et al., 1981 , and Payer and Weil, 1987.)

ضياح الموارد الطبيعية الذى يحدث عندما تستخدم رواسب الفوسفور الجيولوجية أو المخلفات العضوية (مثل: الأسمدة الحيوانية، الحماة) كمحسنات للتربة بغرض تحسين نمو النبات والمحصول. ويحدث انتقال فوسفور التربة بصفة أولية عن طريق الانسياب السطحي، بالرغم أن مستويات الأساس للفوسفور الداخلى إلى الجداول والبحيرات عن طريق الانسياب تحت السطحي تعكس - بكل تأكيد - تأثيرات استخدام الأراضي. ويمثل الانسياب المباشر للفوسفور فى الأنهار من أنظمة معالجة مياه الصرف الصحي صورة مختلفة جلية للانتقال الذى يتطلب تكاليف اقتصادية وتكنولوجية كبيرة وذلك بغرض تخفيض تأثيرات الفوسفور على البيئة المائية.

٥ - ٤ - ١ انتقال الفوسفور عن طريق الانسياب السطحي :

يمكن للماء المنساب عبر سطح التربة أن يذيب وينقل الفوسفور الذائب، أو يجرف وينقل حبيبات التربة الدقيقة الحاملة للفوسفور. ويتكوّن الفوسفور الذائب من فوسفور غير عضوى أو عضوى، بينما تتكون حبيبات التربة الدقيقة الحاملة للفوسفور بصفة عامة من حبيبات التربة الدقيقة (مثل: الطين) والمادة العضوية الخفيفة. ويمكن أن تعزى الكمية الصغيرة للفوسفور الذائب أو الفوسفور القابل للانطلاق بسرعة فى معظم بيئات الأراضي إلى درجة ذوبان الفوسفور المنخفضة، والسعة الكبيرة لمعادن الطين لادمصاص الفوسفور، والتركيز العالى للفوسفور فى المادة العضوية بالتربة. وينتج عن هذا انتقال معظم الفوسفور الكلى المتكون فى هيئة حبيبات تربة دقيقة حاملة للفوسفور. وهذا صحيح خاصة عندما تحتوى مياه الأمطار السارية كميات كبيرة من المواد الصلبة المعلقة. ومع ذلك، إذا تم استخدام عمليات الفلترة (الترشيح) الطبيعية أو الصناعية (مثل: الغابات، الأراضي الرطبة، شواطئ ممرات المياه المزروعة أعشاب) بغرض إزالة الفوسفور المرتبط بالرواسب، حينئذ فإن انتقال الفوسفور الذائب يصبح ذا أهمية أكبر. وبالمثل، عندما تكون الأراضي بها زيادة من الفوسفور، مثلما يحدث غالباً فى المناطق التى تضاف لها مخلفات عضوية بصفة متكررة من خلال العمليات الزراعية، فإن مستوى الفوسفور الذائب يكون فى غاية الأهمية.

وفى الواقع فإن جميع الفوسفور الذائب المنقول عن طريق مياه الأمطار السارية يكون ميسراً بيولوجياً، ولكن الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة الذى يدخل الجداول والمياه السطحية الأخرى يجب أن يحدث له نوع من تفاعل الإذابة (مثل: الانطلاق) قبل أن يصبح ميسراً للنباتات والكائنات المائية. ويتعقيد أكثر للعملية فهناك حقيقة وهى أنه خلال عملية الانتقال نفسها، فإن الفوسفور الذائب والفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة يمكن أن يحدث لهما تفاعلات مع الأراضى التى تقع على حدود الحقول والبحيرات، والمياه المناسبة، ورواسب قيعان وشفاف الجداول. ويمكن لهذه التفاعلات أن تُغَيِّر (تقلل) بدرجة مثيرة قدرة الفوسفور المفقود أصلاً فى مياه الأمطار السارية على تشجيع حدوث عملية التشبع الغذائى فى اتجاه مجرى الجول. وتهدف ممارسات إدارة الأراضى إلى تقليل فقد الفوسفور فى مياه الأمطار السارية عن طريق تقليل زيادة فوسفور التربة الذائب وتقليل فقد الحبيبات الدقيقة الحجم والمادة العضوية بالانجراف. وتعتبر برامج إدارة العنصر الغذائى الموجهة إلى الأسمدة المعدنية والمخلفات العضوية، وممارسات صيانة الأراضى المحروثة، وتقنيات مقاومة الانجراف مثل: المصاطب، زراعة ضفاف الممرات المائية بالأعشاب ؛ أمثلة لاستراتيجيات تستخدم لتقليل فقد الفوسفور - إلى أدنى حد - فى مياه الأمطار السارية.

إن الآليات المتضمنة فى عملية انتقال الفوسفور واضحة ومباشرة، وتشمل انطلاق أولى أذويان الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة، يعقبها حركة المياه من التربة إلى الجدول أو النهر، وأخيراً تواجه بيئة مائية حساسة، وقد يُحمل أيضاً الفوسفور العضوى الذائب الذى لا يدمص بواسطة حبيبات التربة بواسطة مياه الأمطار السارية. ومن المهم من وجهة نظر إدارة التربة مراعاة الحقيقة التى تعنى أن معظم الفوسفور الذائب الداخلى فى مياه الأمطار السارية ينشأ أصلاً من تفاعل المياه المناسبة مع السطح الأعلى للتربة (صفر - ٢سم). وأى ممارسة إدارة تقلل - إلى أدنى حد - مستويات الفوسفور الذائب عند هذا العمق (مثل: دمج السماد أو المخلف العضوى) أو تشجع رشح الماء فى التربة ؛ حيث يمكن للفوسفور الذائب أن يدمص بواسطة مكونات التربة ؛ سوف تقلل فقد الفوسفور إلى البيئة. وبطريقة مماثلة، فإن سعة الرشح الطبيعية للمناطق غير الزراعية المتاخمة للحقول أو سعة الادمصاص العالية لرواسب الجداول وشفافها يمكن أن تقلل انتقال الفوسفور عن طريق

ادمصاص الفوسفور من مياه الأمطار السارية، مع افتراض توافر وقت كاف للتلامس بين المياه الغنية بالفوسفور وهذه الرواسب.

ويعرض جدول ٥ - ٤ بعض أمثلة لطرق تستخدم لتقليل فقد الفوسفور في مياه الأمطار السارية، وهي تُبين أهمية تقليل عمليات الحرث (مثل الحرث باستخدام المحراث الحفار أو بدون حرث بتاتاً؛ عكس ما هو مألوف أو متبع)، ودفن بقايا المحاصيل في قنوات، وزراعة ضفاف المجارى المائية بالأعشاب - في مسك أو حبس الفوسفور الذائب والفوسفور المرتبط بالرواسب. وتوضح هذه الأمثلة أيضاً أهمية اعتبار جميع جوانب ممارسات مقاومة مياه الأمطار السارية من أجل تعظيم الكفاءة الكلية لنظام الإدارة. فالحرث باستخدام المحراث الحفار، على سبيل المثال، قد يكون مؤثراً في مقاومة الانجراف ومياه الأمطار السارية تماماً مثل عدم الحرث على الإطلاق في أراضى معينة. والحرث باستخدام المحراث الحفار يُحسن (يزيد) أيضاً المحصول وامتصاص العنصر الغذائي بواسطة النبات عن طريق تكسير وتفكيك مناطق التضغط وتحسين نمو الجذور، كما أنه يعتبر طريقة لدمج المخلفات العضوية بالتربة، ولو على الأقل جزئياً. ولقد وجد أن القنوات الأضيق لدفن بقايا المحاصيل فعالة مثل القنوات الأوسع تماماً في تخفيض فقد الفوسفور، في حالة وجود غطاء نباتي كاف للتربة. وتؤدي ممارسات القطع الزائد أو المتكرر للأعشاب على ضفاف المجارى المائية إلى زيادة كفاءة إزالة الفوسفور في نظم تنقية مياه الصرف الصحي المعتمدة على الانسياب على الأراضى. وبالرغم من ذلك، فإن تلف تجهيزات ضفاف المجارى المائية المزروعة بالحشائش، والذي يسببه القطع الزائد لهذه الحشائش يُنتج أخاديد أو قنوات يمكنها أن تساهم في زيادة سريان مياه الأمطار. وفي كل من هذه الأمثلة، فإن الحاجة إلى تقليل فقد الفوسفور يجب أن تترنن ضد الجوانب الأخرى للنظام (مثل: نمو المحصول في أراضى منضغطة بدرجة شديدة، فقد الأراضى الزراعية عن طريق تحويلها إلى شرائح ترشيح، الزراعة المستدامة للحشائش على ضفاف المجارى المائية) وذلك لتحقيق أفضل كفاءة لممارسات الإدارة.

إن عملية انتقال الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة أو تفاعلاته التالية معقدة بدرجة كبيرة. وينشأ الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة ليس فقط من

انجراف التربة، ولكن أيضاً من قيعان وضايف الجداول أو مناطق الصرف التي تحمل المياه من الحقل إلى جسم المياه السطحية. وكما هو الحال مع جميع حالات الانجراف، فإن فقد الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة يمثل انفصال حبيبات التربة الدقيقة كنتيجة للطاقة التي تحتويها المياه الساقطة أو المياه السارية. وسوف تحدد طبيعة سقوط الأمطار أو سريانها على سطح الأرض مستوى الطاقة للمياه، بينما يؤثر قوام التربة وبنائها في كمية الطاقة اللازمة لتفكيك ونقل حبيبات التربة. ونظراً لأن الحبيبات الأصغر حجماً والأخف وزناً تحتاج طاقة أقل لازاحتها وحملها، فإنه ليس من المدهش أن معادن الطين والمادة العضوية - وهي مكونات تربة ذات كثافة منخفضة نسبياً - لها الأفضلية (الأولوية) في الانتقال في مياه الأمطار السارية. وبمجرد دخول مكونات التربة الصلبة إلى الجدول أو النهر، يصبح مصيرها النهائي هو أن تترسب من المياه في صورة رواسب. وإن إعادة تعليق هذه الرواسب كما يحدث خلال سقوط أمطار غزيرة، أو انسياب سريع للجداول، جنباً إلى جنب مع انفصال حبيبات التربة من شواطئ الجدول، يمكن أن يزيد انتقال الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة في تاريخ لاحق. وبصفة عامة، فإن ممارسات الاستخدام المكثف للأراضي - مثل أنشطة البناء الحضرية، والتعدين السطحي، والأراضي الزراعية التي تحرث بطريقة تقليدية - سوف تتضمن نسبة أكبر لانتقال الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة من مياه الأمطار السارية على السطح، مقارنة بالرواسب المعاد تعليقها ومواد ضفاف الجداول. وفي النظم البيئية الطبيعية والمناطق التي تقلل فيها عمليات صيانة التربة من انجراف مواد التربة الصلبة، فإن دور الجداول في نقل الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة يصبح في غاية الأهمية.

تحتوي الحبيبات المنقولة في مياه الأمطار السارية على كميات أعلى في الفوسفور، والمادة العضوية، والعناصر الغذائية الأخرى، مقارنة بالتربة التي نشأت منها هذه الحبيبات. وهذا الإغناء راجع إلى سعة الادمصاص الأكبر لحبيبات الطين الأصغر حجماً والتركيزات العالية نسبياً للفوسفور في المادة العضوية، مقارنة بحبيبات السلت والرمل (جدول ٥ - ٥). ولقد تطور مفهوم «نسبة الإغناء» لكي يستخدم في

تحديد مناطق تجمع الأمطار حيث تتطلب ممارسات إدارة مكثفة بمستوى أكبر لمقاومة عملية إغناء العنصر الغذائي للمياه السطحية. وتحسب «نسبة الإغناء» بأنها النسبة بين تركيز الفوسفور في حبيبات التربة الدقيقة الموجودة في مياه الأمطار السارية وتركيزه في مصدر التربة. ولقد أوضحت البحوث أن نسب الإغناء للفوسفور الكلى والميسر لها علاقة وثيقة بكمية التربة المفقودة من منطقة تجمع الأمطار، وهذا يعطى أساساً كمياً لتقدير تأثير استخدام الأرض على فقد الفوسفور الذائب، والميسر بيولوجياً، والمرتبطة بحبيبات التربة الدقيقة، وبالتالي على إنتاجية الأراضي والمياه السطحية في مستجمعات الأمطار. وقد أدى التقدم الحديث في البحوث إلى تكوين نماذج أثبتت نجاحها في التنبؤ بفقد الفوسفور من عوامل يمكن الحصول عليها مثل فقد التربة بالانجراف، واختبار التربة في الفوسفور، وخواص التربة (مثل: نسبة الطين، المادة العضوية، فوسفور التربة الكلى) (شكل ٥ - ١٣).

وبمجرد انتقال الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة ودخوله البحيرة، فإن كثيراً من العمليات الحادثة في بورة فوسفور التربة تستمر، ولو بمعدلات مختلفة. ويؤثر حجم الحبيبات ودرجة الحرارة النسبية للمياه المتدفقة واللبحيرة في التوزيع الأولى للرواسب داخل البحيرة. ولعل أحد الأسباب الرئيسية لظاهرة التشبع الغذائي هو ارتفاع درجة العكارة المصاحبة للحبيبات دقيقة الحجم التي تستقر ببطء كبير إلى قاع البحيرة. وإن الطبيعة العكرة لعمود المياه العلوى تقلل نفاذ الضوء، وتقل بذلك المنطقة الضوئية؛ ويسبب أن الحبيبات الدقيقة الأصغر حجماً تحتوى عادة على نسبة فوسفور مرتفعة مقارنة بالحبيبات الخشنة التي تستقر في القاع بسرعة، فإن التأثير الأولي الكلى لها هو تنشيط الخصوبة البيولوجية في الجزء العلوى للمياه. وعلى المدى الطويل يحدث فيما بعد انطلاق الفوسفور من الرواسب التي استقرت مع الزمن في قاع البحيرة. ويعتبر الفوسفور المدمص بواسطة الطين، وأكاسيد الحديد والألومنيوم، وكربونات الكالسيوم المصادر الرئيسية للفوسفور القابل للانطلاق. وتؤثر العمليات الفيزيائية والكيميائية التي تحدث في البحيرة بدرجة كبيرة في عملية الانطلاق؛ فالتغيرات في درجة الحرارة أو الإثارة التي تحدثها العواصف يمكنها أن تجعل

جدول ٥ - ٥ متوسط نسبة الإغناء لستة أراضى غربية.

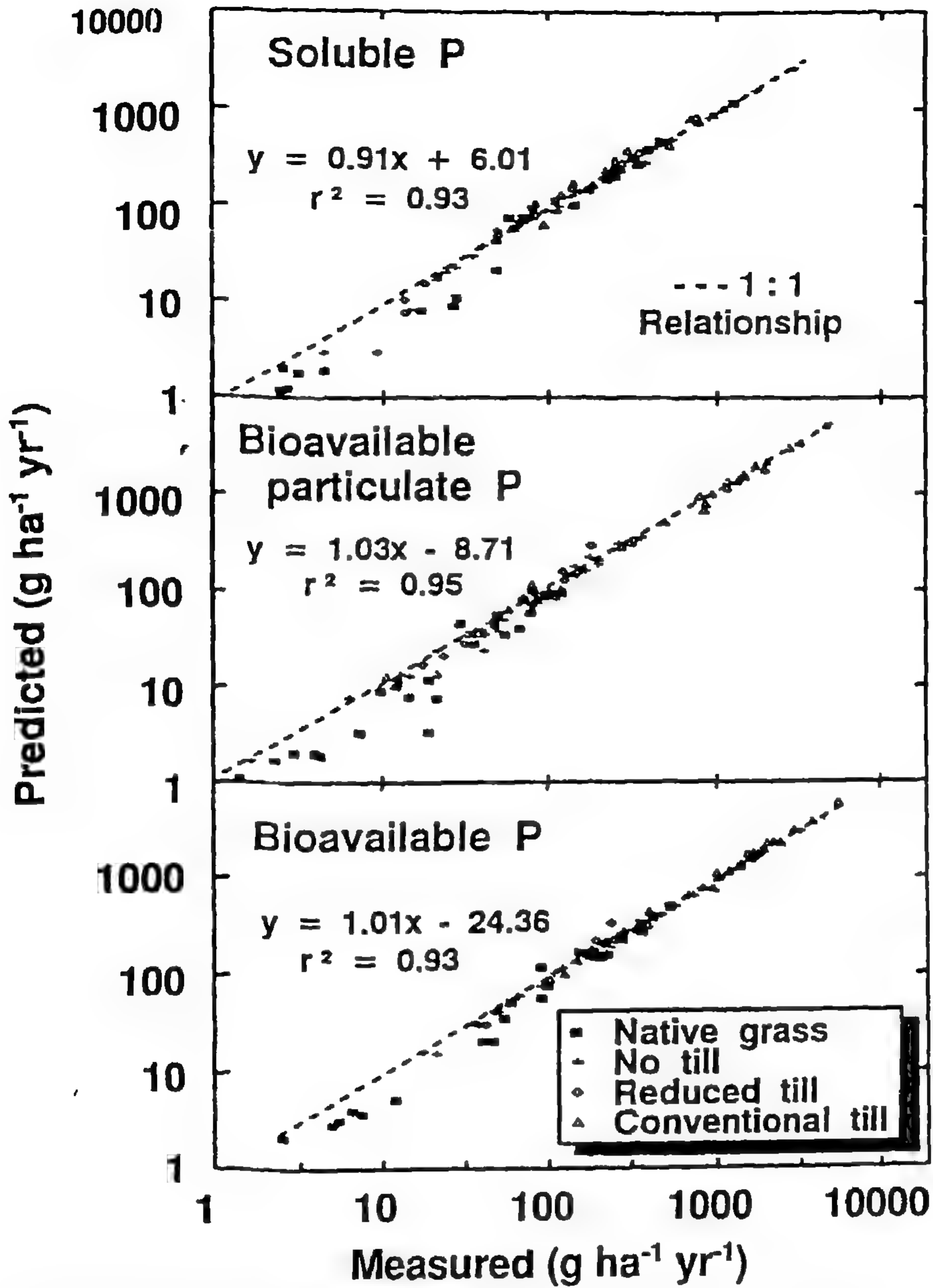
خواص التربة	نسبة الإغناء*
كربون عضوى	٢,٠٠
طين (%)	١,٥٦
مساحة السطح	١,٣٢
P ميسر حيويًا	١,٤٩
P الكلى	١,٤٦
EPC (مجم / لتر)	١٨٠ - **

(Sharpley , 1985.)

$$(*) \text{ نسبة الإغناء} = \frac{\text{(قيمة خاصية التربة فى رواسب ماء المطر السارى)}}{\text{(قيمة خاصية التربة فى التربة المصدر قبل سريان ماء المطر)}}$$

(**) توضح قيمة نسبة الإغناء السالبة أن التربة المصدر احتفظت بقيمة الفوسفور فى المحلول عند الاتزان أعلى من قيمته فى رواسب مياه الأمطار السارية.

رواسب القاع مرة أخرى فى حالة معلقة فى عمود المياه وتحفز انطلاق الفوسفور فى المناطق «الضوئية» حيث يحدث نمو للطحالب، كما يمكن أيضا لحالة أكسجين البحيرة أن تؤثر فى انطلاق الفوسفور من الرواسب. وأوضحت الدراسات، على سبيل المثال، أنه تحت الظروف اللاهوائية ينشط انطلاق الفوسفور، وأنه عندما تزداد مستويات الأكسجين فى البحيرة يزداد امتصاص الفوسفور أيضا. ويؤثر زمن البقاء للمياه فى البحيرة، أيضا وبدرجة كبيرة، على أهمية الفوسفور فى الرواسب. فعندما يكون زمن البقاء للماء المتدفق فى البحيرة طويلاً (على الأقل عدة شهور)، فإن مدخلات الفوسفور من الجداول والأنهار يصير لديها الوقت الكافى للتراكم فى هيئة رواسب على قيعان



شكل ٥ - ١٢ مقارنة بين فقد الفوسفور التي تم التنبؤ به والفوسفور الذي تم قياسه. تم التنبؤ بالفوسفور الذائب من: فقد التربة، واختبار التربة في الفوسفور، وعوامل أخرى لها علاقة بمياه الأمطار السارية. وتم التنبؤ بالفوسفور الميسر حيويًا من: الفوسفور الكلي في التربة أو الفوسفور الميسر حيويًا، وتركيز الرواسب في مياه الأمطار السارية، ونسب الإغناء المقدرة من فقد التربة. (Sharpley and Halvorson, in Press.)

البحيرة. وإذا كان الماء المتدفق خلال البحيرة سريعاً فإن الفوسفور المحتجز بالحبيبات الدقيقة الصغيرة الحجم قد يُزال من البحيرة قبل أن يحدث له استقرار من عمود المياه. وبالفعل، فهناك استراتيجيات واحدة شائعة في المواقع الزراعية والحضرية لتقليل - إلى أدنى حد - عملية إغناء البحيرات وخزانات المياه بالعنصر الغذائي، وهي إنشاء برك ترسيب أو برك حجز تبقى فيها المياه مدة طويلة ؛ فتعمل كنظم ترشيح (لفترة) للفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة في مياه الأمطار السارية. والأمر يتطلب بعد ذلك إزالة الرواسب التي أصبحت غنية بالعنصر أو عمل تغليف كيميائي محكم لها، وهذا يمكن تداركه ويمكن تصميمه للحصول على أعظم كفاءة.

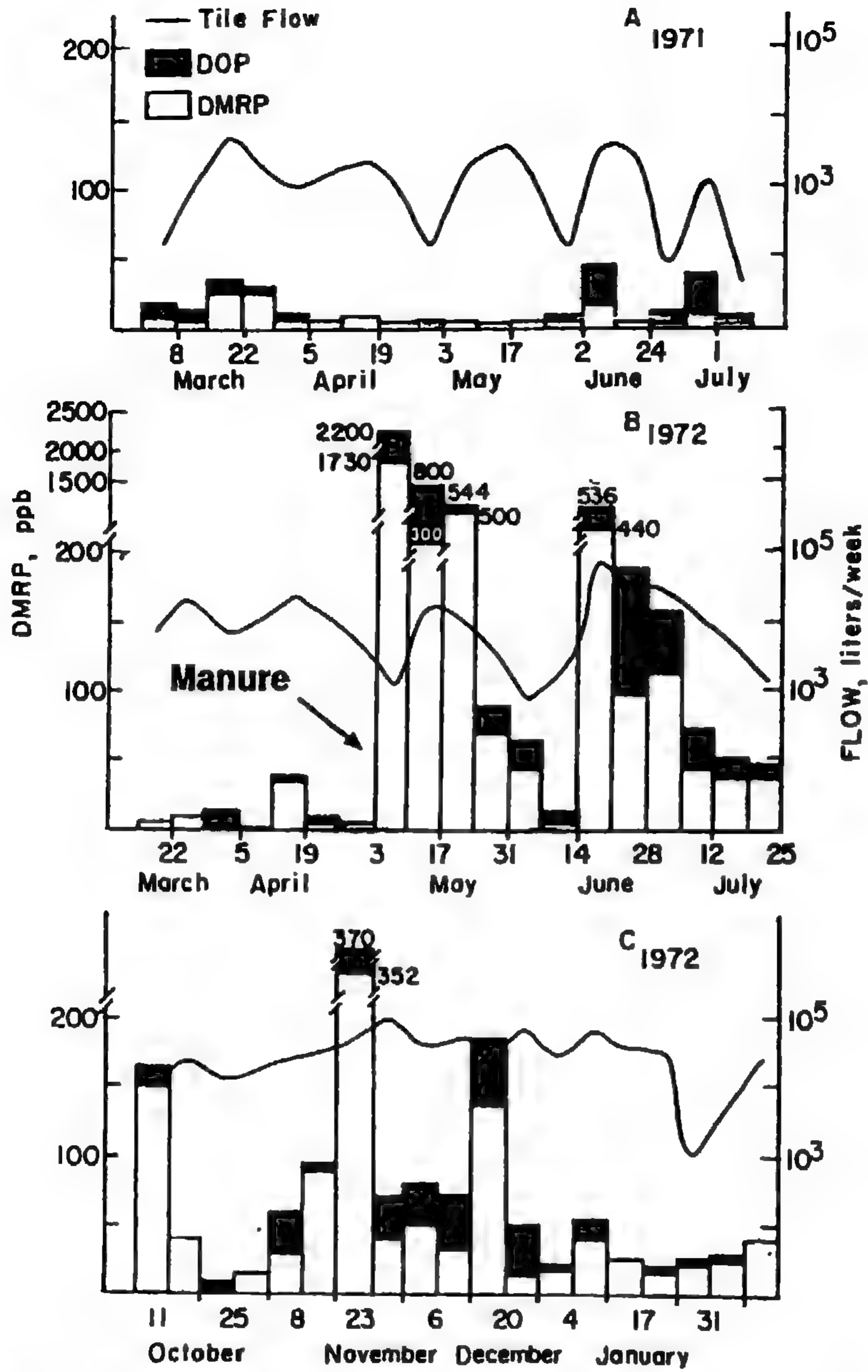
٥ - ٤ - ٢ غسيل الفوسفور وانسيابه تحت السطح :

إن العملية الطبيعية الخاصة بانسياب المياه الجوفية إلى المياه السطحية تسهم في الفوسفور الذي يمكن أن يلعب دوراً في عملية التشبع الغذائي. وفي معظم الحالات، فإن مدخل الفوسفور عن طريق الانسياب تحت السطح يمثل تأثير استخدام الأراضي لعشرات السنين، ويجب أن ينظر إليه كمساهمة أساسية للانسياب الذي يمكن أن يتغير فقط على المدى الطويل عن طريق التحسينات في إدارة جميع العمليات الحضرية والزراعية في مستجمع الأمطار. وهناك استثناء وحيد ممكن وهو الانسياب تحت السطح من الحقول ذات الصرف الصناعي، حيث يمكن أخذ قياسات تصحيحية إما عند المصدر أو عند نقطة التفريغ. وتعتبر البرامج المحسنة لإدارة العنصر والأراضي الرطبة الصناعية أمثلة لاستراتيجيات يمكن أن تستخدم لتقليل حمولة العنصر في مياه الصرف من المناطق الحضرية والزراعية.

وفي جميع الحالات، فقد وجد أن تركيز الفوسفور في المياه المنسابة تحت السطح منخفض إلى حد كبير وتحت مستوى بداية عملية التشبع الغذائي بكثير. وهذا يعكس سعة الامتصاص الكبيرة للأراضي للفوسفور، وعلى الأخص آفاق تحت التربة الناقصة في الفوسفور. وبسبب هذا، فإن غسيل الفوسفور مختلف عن غسيل النترات،

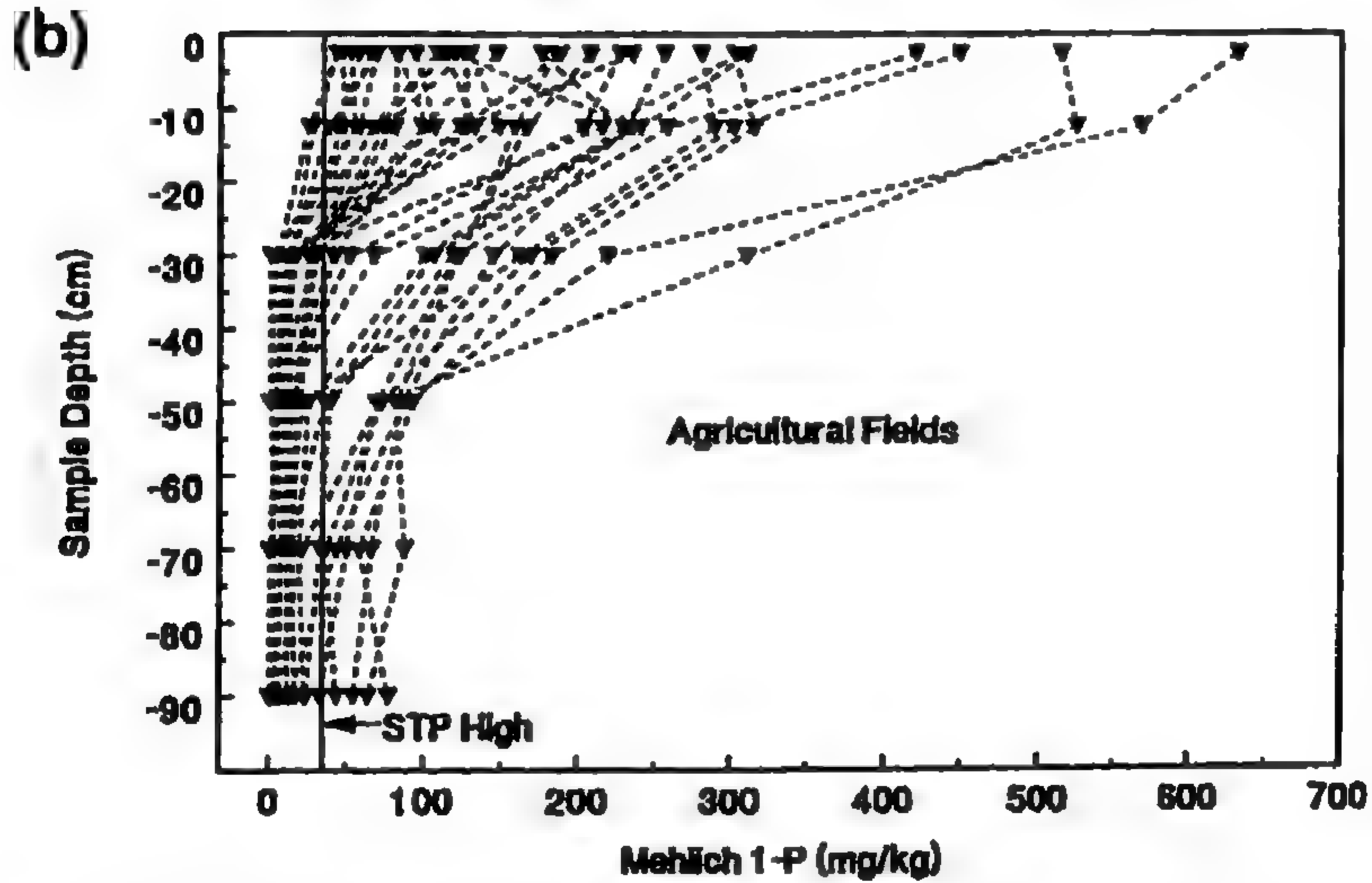
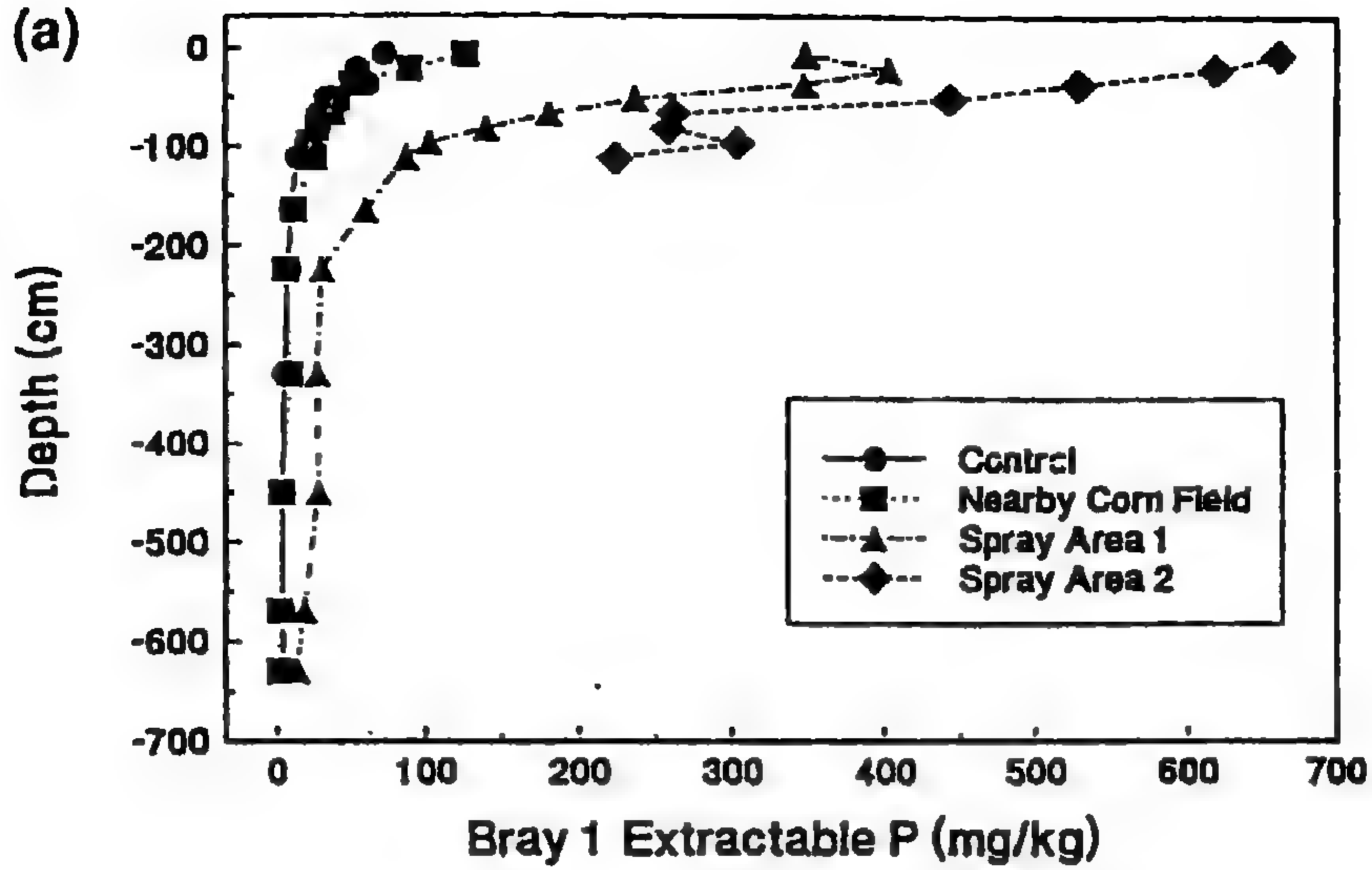
ونادراً ما ينظر إليه كقضية بيئية مهمة ، وتوجد استثناءات لذلك تشمل الأراضي العضوية التي يتذبذب فيها مستوى الماء الأرضي وتُسمد بكثافة، والأراضي الرملية ذات مستوى الماء الأرضي الضحل، كما أن نور المادة العضوية في غسيل الفوسفور (الذي ذكر بعاليه) غير مفهوم تماماً، ولكنه يعتقد أنه عامل جوهري. والصرف الصناعي - الشائع استخدامه في الأراضي العضوية - عادة يزيد رشح ونفاذية الماء، ويزيد احتمال غسيل الفوسفور، ولكنه يقلل فقد الفوسفور في مياه الأمطار السارية. ولو حدثت إضافات كثيفة للأسمدة الحيوانية في وجود صرف صناعي للأراضي، فإن غسيل الفوسفور يمكن أن يكون معنوياً (كما هو موضح في شكل ٥ - ١٤) ؛ حيث إن إضافة ٢٠٠ طن/ هكتار من سماد مزارع إنتاج اللبن أدت إلى زيادة كبيرة حادة لتركيز الفوسفور في مياه الصرف المغطى. كما وجد أن تحسين التهوية في الأراضي العضوية الراجع إلى الصرف الصناعي يحفز (يشجع) معدنة الفوسفور وفقده في مياه الصرف عن طريق الغسيل.

ولقد لوحظ أن معظم الحالات الشائعة التي يحدث فيها غسيل للفوسفور من الأراضي المعدنية تقع في نظم معالجة مياه الصرف الصحي والزراعي، وفي أراضي رملية حيث يتم فيها التخلص من المخلفات الحيوانية؛ وهي ضرورية بسبب النقص في الأراضي المناسبة لإدارة المخلفات إدارة سليمة. والأمثلة لهذا موضحة في شكل (٥ - ١٥) للأراضي الرملية التي تستخدم نظام الري بمياه الصرف الصحي للمحاصيل الزراعية في منطقة تسود فيها صناعة الدواجن بتركيز كبير. وفي كلتا الحالتين، فإن حركة الفوسفور تحت التربة تحدث بوضوح. وفي حالة الري بمياه الصرف الصحي، كان متوسط الفوسفور في المياه الجوفية في مناطق مروية بنظام الري بالرش حوالي ٠.٧٥ ملليجرام/لتر، مقارنة بالمقياس البيئي المحلي ٠.٥ ملليجرام/ لتر.



شكل ه - ١٤ تأثير إضافة سماد حيوانات اللبن (٢٠٠ ميجا جم / هكتار) والانسباب المغطى (فى أنابيب فخارية) على فقد الفوسفور العضوى الذائب (DOP) أو الفوسفور المذاب (DMRP) فى الصرف المغطى خلال سنتين.

(Hergert et al. 1981.)



شكل ٥ - ١٥ دراسات غسيل الفوسفور موضحة توزيع الفوسفور المقدر في التربة مع العمق (بطريقة Bray: ٠.٢ ر.ع NH_4F + ٠.٢٥ ر.ع HCl ؛ وبطريقة Mehlich 1: ٠.٥ ر.ع حمض هيدروكلوريك + ٠.٢٥ ر.ع حمض كبريتيك).

(a) مقارنة نظام الري باستخدام مياه المجارى مع حقل قمح مسعدً بأسمدة تجارية. (b) من ٢٤ عينة تربة زراعية في ديلوير حيث تضاف الأسمدة الحيوانية بصفة منتظمة .

(Adriano et al., 1975 , and Mozaffari and Sims, 1993.)

٥ - ٥ الإدارة البيئية لفوسفور التربة :

إن برامج الإدارة التي تهدف إلى تقليل تدمير البيئة - إلى أدنى حد - بسبب فوسفور التربة يجب أن تستخدم أنظمة متعددة في نفس الوقت لتحقيق غايتها. وبسبب أن ظاهرة التشبع الغذائي هي التأثير البيئي السلبي الوحيد للفوسفور، فإن استراتيجيات مقاومة التلوث بالفوسفور بسيطة في فهمها؛ فيجب أن تظل مستويات فوسفور التربة عند مستويات كافية لنمو النبات ولكن ليست زائدة؛ ويجب أن ينخفض الفوسفور الذائب والفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة في مياه الأمطار السارية - إلى أدنى حد - عن طريق الإدارة السليمة للتربة والمياه. وفي الأجسام المائية التي تحدث فيها عملية التشبع الغذائي، يشمل العلاج الممارسات التي تقلل نويان الفوسفور وانطلاقه في جسم المياه. وحتى الآن، فلم تتطور بعد أساليب نظامية تقاوم فقد الفوسفور خلال عملية الانتقال، بالرغم من أن استخدام نظم صرف يسهل التحكم فيها وأراضي رطبة صناعية يعتبران تقدماً حديثاً في هذا المجال.

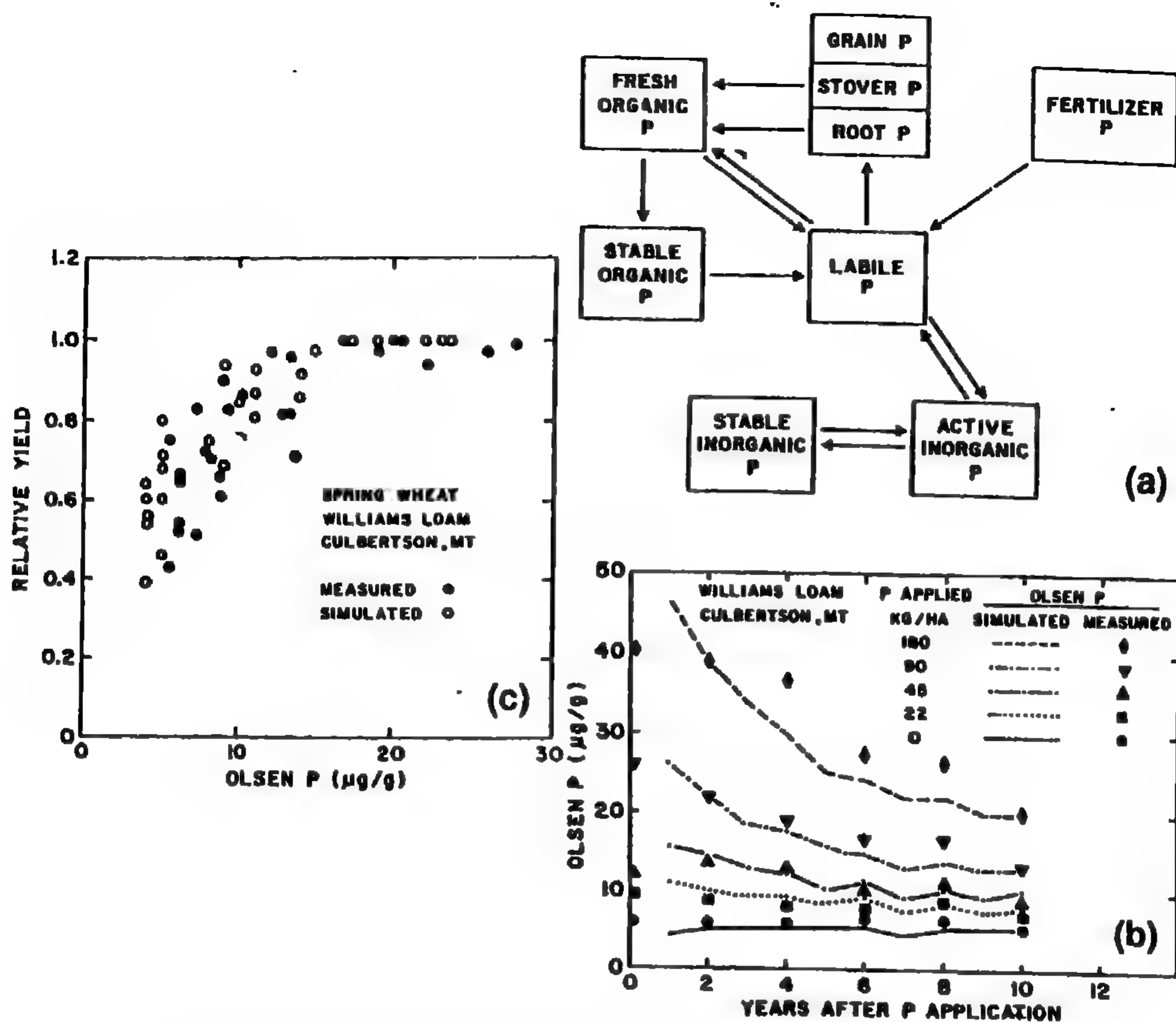
ومع ذلك، توجد عقبات كثيرة وكبيرة في طريق تنفيذ هذه الممارسات «البسيطة». أولها وأهمها هو تيسر الموارد البشرية والاقتصادية اللازمة لتصميم وتنفيذ برامج الإدارة المحسنة لتقليل فقد التربة في المناطق الحضرية والزراعية. وعقبة أخرى مهمة، وخصوصاً في المناطق الحضرية أو المناطق التي تسود فيها الزراعة المعتمدة على الحيوان، هي تركيز الفوسفور المستمر من مناطق جغرافية أخرى في المخلفات العضوية (أو غير العضوية). كما يؤدي ارتفاع تكاليف نقل المخلفات، ومعالجتها، وتكرار دفنها في التربة إلى إضافة هذه المخلفات إلى الأراضي بطريقة ينتج عنها مستويات زائدة بيئياً لفوسفور التربة. وبالأخذ في الاعتبار الطبيعة الصعبة لهذه العقبات في إدارة فوسفور التربة، يصبح واضحاً أن الأمر يتطلب مفهوماً نظامياً على المدى الطويل. ويحتاج الأمر إلى فرق متعددة لها خبرة في البيئة المائية، والكيمياء، والهيدرولوجي، وعلوم الأراضي، وإنتاج المحاصيل، وإدارة المخلفات الصناعية والحضرية، واقتصاديات الموارد؛ ويجب عليهم تحديد المناطق التي تحتاج انتباهاً فورياً، وتحديد الحلول التي تطبق على مستوى كبير وعلى مدى طويل. ويجب أن يتم

تنسيق الاستراتيجيات اللازمة للحالات الحضرية والزراعية، رغم اختلافهما بحيث تحقق الاستقلال الداخلى للمزرعة والسكان المحليات. وقد تطورت النماذج الرياضية المعتمدة على الكمبيوتر والخاصة بجودة المياه وهى تركز على إدارة الفوسفور، مثل نموذج EPIC (انجراف - إنتاجية - تأثير - حاسب). وهذه النماذج تتطلب قاعدة بيانات كبيرة بعوامل كثيرة، ولكنها تنجح بدرجة كبيرة فى التنبؤ بالتغيرات فى مستويات فوسفور التربة أو استجابة المحصول (شكل ٥ - ١٦).

وهناك مفاهيم أخرى أكثر بساطة يمكن استخدامها عن طريق الوكالات الاستشارية (الإرشاد التعاونى، وخدمات صيانة الأراضى) أو المستشارين الزراعيين؛ وهى أيضا تحت التطوير. ولعل أحد الأمثلة لهذه المفاهيم هو الحقل الإرشادى للتنبؤ بالتأثير البيئى المحتمل لفوسفور التربة؛ ويعرف بنظام دليل الفوسفور (شكل ٥ - ١٧)، وهو يستخدم ثمان خواص للموقع يمكن الحصول عليها بسهولة للحصول على دليل للحكم على قابلية الموقع لفقد الفوسفور. ومزايا هذه البرامج سواء كانت بسيطة أو معقدة هى أنها تقلل - إلى أدنى حد - تراكم الفوسفور إلى مستويات زائدة، وتوجه إدارة التربة والمياه نحو تقليل سريان مياه الأمطار وتقليل انجراف التربة.

٥ - ٥ - ١ إدارة فوسفور التربة: اختبار التربة وميزانية العنصر الغذائى:

تشمل العمليات الزراعية إنتاج المحاصيل الزراعية، والإنتاج الحيوانى، والخضروات والمحاصيل الخاصة، والعمليات البستانية التجارية (مثل الصوب، والمشاتل، ومزارع الأعشاب). ومن الضرورى أن تكون خصوبة الفوسفور كافية من أجل إنتاج محصول أعظم فى جميع هذه العمليات، ولكن فى كثير من هذه الحالات أدت الإدارة السيئة للعنصر الغذائى إلى استخدام مكثف لأسمدة الفوسفور المعدنية أو الأسمدة الحيوانية، مع فواقد ناتجة فى هيئة فوسفور ذائب أو رواسب غنية بالفوسفور، وتتطلب إدارة الفوسفور للأغراض الزراعية تطوير وتنفيذ برنامج إدارة للعنصر الغذائى يركز ليس فقط على الربحية، ولكن أيضا على تقليل - إلى أدنى حد - التأثيرات البيئية للفوسفور. وتشمل الجوانب الرئيسية لهذا البرنامج التقدير الواقعى



شكل ٥ - ١٦ (a) المكونات الرئيسية لتدوير الفوسفور في الأراضي، (b) التغيرات التي يمكن التنبؤ بها في اختبار الفوسفور في التربة مع الزمن، ومع (c) استجابة المحصول لاختبار الفوسفور في التربة. (Jones et al . 1984).

قابلية الموقع	دليل الفوسفور للموقع (مجموع القيم الوزنية)
منخفض	٨ >
متوسط	١٤ - ٨
مرتفع	٢٢ - ١٥
مرتفع جداً	٢٢ <

شكل ٥ - ١٧ كشاف مقترح للفوسفور يستخدم لتقويم المواقع فيما يخص قدرتها على إرسال (إطلاق) فوسفور إلى أجسام المياه الحساسة.

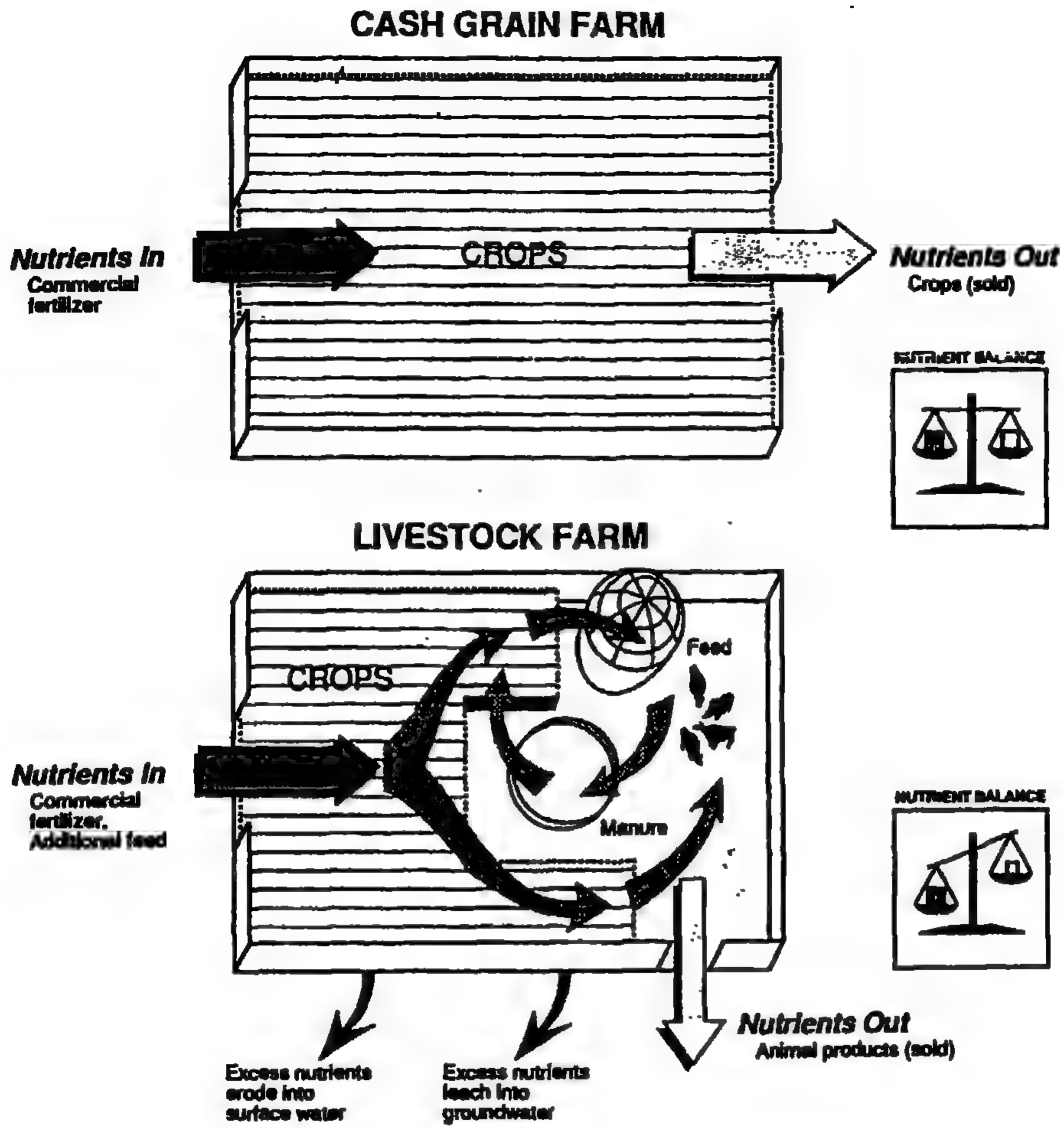
تقويم فقد الفوسفور					خواص الموقع (القيم الوزنية)
لا يوجد (صفر)	منخفض (١)	متوسط (٢)	مرتفع (٤)	مرتفع جدا (٨)	
لا شيء	١١ > Mt / ha	١١-٢٢ Mt / ha	٢٣ - ٢٤ Mt / ha	٢٤ < Mt / ha	إزالة التربة (١,٥)
لا شيء	٦ > للأراضي السهلة الانجراف ١٠ > للأراضي الأخرى	١٠ < للأراضي المقاومة للانجراف	٦ < للأراضي القابلة للانجراف	٦ < للأراضي السهلة الانجراف	إزالة ماء الري (١,٥)
لا شيء	منخفض جدا أو منخفض	متوسط	مرتفع	مرتفع جدا	سريان مياه الأمطار
لا شيء	منخفض	متوسط	مرتفع	زائد	P التربة (١,٠)
لا شيء	15 >	١٦ - ٤٣	٤٤ - ٧٣	٧٣ <	معدل السماد التجاري كجم P / هكتار (٠,٧٥)
لا شيء	يوضع باستخدام البذرة لعمق أكثر من ٥ سم	يدمج مع التربة قبل الزراعة مباشرة	يدمج أو يضاف على السطح ٣ < شهور قبل الزراعة	يضاف على السطح ٢ < شهور قبل الزراعة	طريقة إضافة السماد الفوسفوري (٠,٥)
لا شيء	١٥ >	١٦ - ٢٠	٣١ - ٤٣	٤٣ <	معدل إضافة المصدر العضوي (كجم P / هكتار) (١٠)
لا شيء	بالحقن لعمق أكبر من ٥ سم	يدمج قبل الزراعة مباشرة	يدمج، ٢ < شهور قبل الزراعة. أو يضاف على السطح ٢ > شهور قبل الزراعة	يضاف إلى المراعي أو ٢ < شهور قبل الزراعة	طريقة إضافة مصدر P العضوي (١٠)

تابع شكل ٥ - ١٧

لاحتياجات النبات من الفوسفور، وبرامج اختبارات التربة وتحليل النبات التي تراقب مستويات فوسفور التربة، والممارسات الكفء للتسميد بالفوسفور وفي الوقت المناسب، وعمليات الحرث التي تقلل فقد التربة، والمفاهيم الحديثة الجديدة لإدارة المخلفات العضوية.

وبالرغم أن الفوسفور عنصر غذائي ضروري له وظائف بيوكيميائية مهمة عديدة، فإن الكمية التي يحتاجها النبات أقل بكثير جدا عن العناصر الغذائية الكبرى الأخرى (النيتروجين ، البوتاسيوم). وتتراوح التركيزات النموذجية للفوسفور في المحاصيل من ٠.١ إلى ٥.٠ ٪، وتتراوح عادة التوصيات السمادية بالفوسفور من ١٠ إلى ١٠٠ كجم فوسفور للهكتار. ومع ذلك، فإن الفوسفور المضاف من الأسمدة الحيوانية يختلف عن الفوسفور المزال من الحقل في المحصول، كما هو موضح في شكل ٥ - ٨. على أن طبيعة الدورة الزراعية التي تتضمن المحصول وعمليات الفلاحة بأكملها سوف تُحدّد في النهاية «ميزانية» العنصر الغذائي في التربة على المدى الطويل. وعلى سبيل المثال، كثير من الأسمدة المعدنية للفوسفور الممتصة بواسطة محاصيل الحبوب الزراعية تعود إلى التربة في صورة مخلفات محاصيل، بينما تزيل محاصيل العلف أو السيلاج من الحقل فوسفوراً أكثر. وبالمثل، هناك سيناريو مضاد مدون في شكل ٥ - ١٨ يوضح الاختلافات في تعقيد إدارة الفوسفور لمزرعة محصول نقدي مقارنة بمزرعة إنتاج حيواني.

ويجب أيضاً أن نراقب ميزانية العنصر على مستوى الدولة أو الإقليم، خصوصاً في المناطق التي تسود فيها الزراعة المعتمدة على الحيوانات أو الأقاليم المتحضرة بدرجة كبيرة حيث تعتبر إضافة مخلفات المحليات العضوية ممارسة مقبولة. وتوجد مشاكل صعبة هائلة في مناطق معينة، سواء على مستوى المزرعة أو الدولة كما هو موضح في جدول ٥ - ٦ لمنطقة ديلاوير، وهي منطقة بها أكبر صناعة مركزة لإنتاج الدواجن في الولايات المتحدة.



شكل ٥ - ١٨ مقارنة ائزان العنصر الغذائى فى مزرعة تعتمد على زراعة محاصيل نقدية وفى مزرعة أخرى تعتمد على الإنتاج الحيوانى . والشكل يوضح الطبيعة المعقدة جدا لدورة العنصر الغذائى فى عملية الإنتاج الحيوانى .

(Weidner , 1988.)

ولقد استخدمت اختبارات التربة وتحليل النبات بطريقة تقليدية لتحديد نقص الفوسفور واحتمال استجابة المحصول للتسميد بالفوسفور. وفي مناطق كثيرة من الولايات المتحدة (كما هو موضح في شكل ٥ - ١٩)، يشيع نقص الفوسفور. وتلعب اختبارات التربة دوراً حيوياً في ضمان الحصول على محصول أعظم اقتصادياً. ومع ذلك، في مناطق أخرى، فإن الاستخدام الروتيني لأسمدة الفوسفور المعدنية والمخلفات العضوية أدى إلى تراكم مستويات فوسفور مرتفعة في التربة لدرجة أنها تحتاج إلى سنوات قبل أن تحدث استجابة اقتصادية للتسميد بالفوسفور (مع الاستثناء الممكن للفوسفور في السماد البادئ). ومثال لطول هذه الفترة اللازمة للأراضي المرتفعة في الفوسفور (موضح في شكل ٥ - ٢٠)، حيث تحتاج إلى حوالي ١٥ سنة لينخفض اختبار التربة في الفوسفور من حوالي ١٠٠ ملليجرام فوسفور لكل كيلو جرام إلى المستوى المحدد للمحصول (حوالي ٢٠ - ٢٥ مجم P / كجم). ويتم دراسة اختبارات التربة الجديدة بالنسبة لهذه المناطق التي أصبحت غنية في الفوسفور، وذلك لتحديد القدرة الإمدادية لهذه الأراضي بالفوسفور على المدى الطويل، ومعرفة الحاجة إلى استراتيجيات مكثفة لإدارة الأراضي، وذلك بسبب المستويات العالية للفوسفور الميسر حيوياً والموجود في هذه الأراضي. وعلى سبيل المثال، حتى وقت قريب، لم تستطع كثير من معامل اختبارات الأراضي - بسبب قصور في الأجهزة أو الصعوبات الاقتصادية - قياس التركيز الفعلي للفوسفور في الأراضي حتى عندما كان تركيزه مرتفعاً في الأراضي التي فيها استجابة المحصول كانت غير محتملة. وإن ظهور الاعتبارات البيئية فيما يتعلق بفوسفور التربة، واستخدام الأجهزة الحديثة جعلت القياسات الروتينية للفوسفور الفعلي في التربة ممكنة، وفي جميع الحالات أمكنها تحديد العمليات الزراعية التي تؤدي إلى مستويات زائدة بكثير عن كمية الفوسفور اللازمة للنمو العادي للنبات. وكمثال على ذلك هو الحصر المعمول على ٧٠ مزرعة في جنوب شرق بنسلفانيا، وهي منطقة تسود فيها الزراعة المعتمدة على الحيوان، والذي أوضح أن أرقام اختبارات التربة بطريقة Bray P1 تراوحت من ٣٦ إلى ٤١١ مجم P / كجم بمتوسط ١٣٠ مجم P / كجم، وكان الحد الحرج لمستخلص Bray P1 ٢٠ مجم P / كجم. وهناك طرق

جدول ٥ - ٦ ميزانية الفوسفور - على مستوى الولاية وعلى مستوى المزرعة -
 فى الزراعة المعتمدة على الإنتاج الحيوانى فى ديلوير.

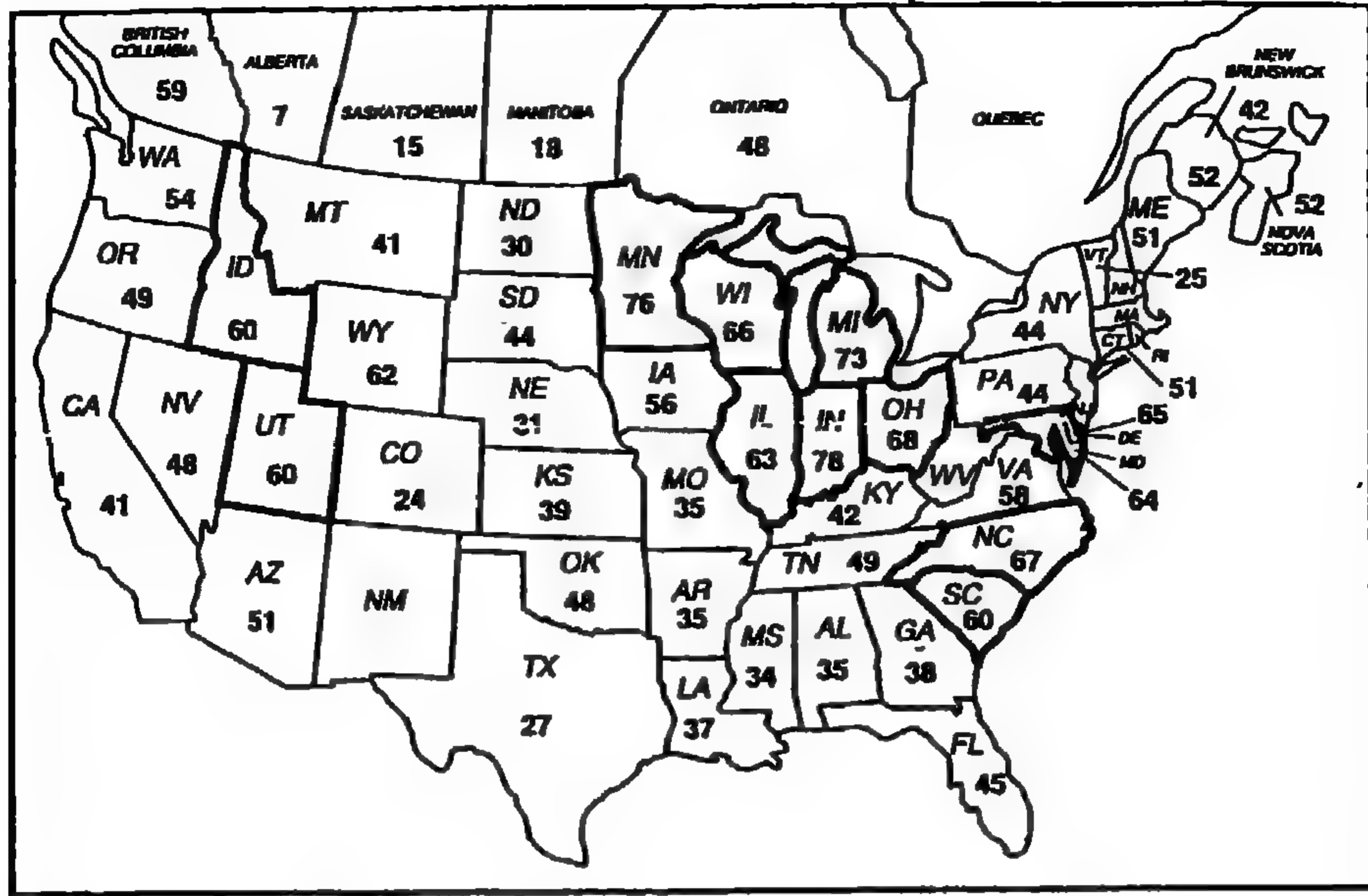
ميزانية الفوسفور على مستوى الولاية (كجم)				
المحصول	هكتار	احتياجات P السنوية*	مصدر P	كمية P الميسر فى السنة
الذرة	٦٩٦٠٠	٩٣٧٠٠٠	سماد الدواجن	٣٥٠٠٠٠٠
فول الصويا	٨٠٦٠٠	١٠٨٤٠٠٠	أسمدة تجارية	٣٠٠٠٠٠٠
القمح	٢٤٣٠٠	٣٣٠٠٠٠	مخلفات أخرى	غير موثقة
الشعير	١١٠٠٠	١٤٧٠٠٠		
وغيرها	٣٢٤٠٠	٤٣٦٠٠٠		
المجموع	٢١٧٩٠٠	٢٩٣٤٠٠٠	المجموع	٦٥٠٠٠٠٠

٠. ميزانية الفوسفور على مستوى الولاية : زيادة قدرها ٣٥٦٦٠٠٠ كجم للولاية فى السنة.

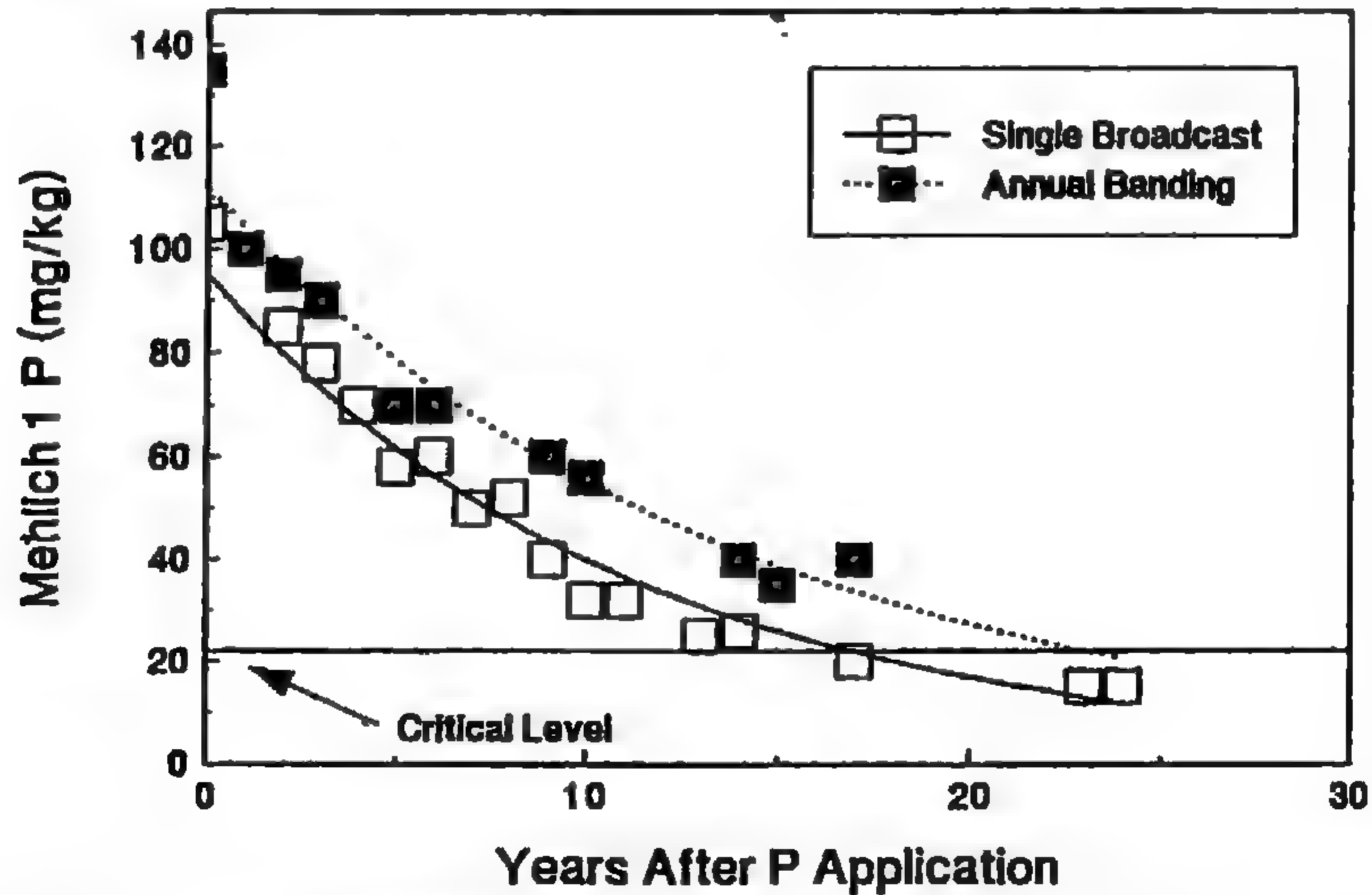
ميزانية الفوسفور على مستوى المزرعة (كجم)			
العنصر الغذائى	المطلوب للمزرعة	الميسر من السماد الحيوانى	الزيادة المحتملة
نتروجين	٤٢٠٠٠	٢٣٨٠٠	لا توجد زيادة
فوسفور	١٤٥٠٠	٢١٩٠٠	٧٤٠٠ +
بوتاسيوم	١٧٠٠٠	١٩٠٠٠	٢٠٠٠ +

ملاحظة: افتراضات: مساحة المحاصيل = ٤١٠ هكتار (الذرة، فول الصويا، الخضروات)؛ اختبارات الأراضى: ٦٠٪ من الحقول مرتفع فى الفوسفور والبوتاسيوم؛ كمية السماد الحيوانى ١٤٩٠٠٠ وسماد الدواجن = ٩٥٠ ميجا جم/ السنة؛ تحليلات السماد الحيوانى $N/20$ ، $P_2O_5/20$ ، $K_2O/20$ ؛ معدل إضافة السماد الحيوانى يعتمد على احتياج المحصول من النتروجين.

* اعتماداً على التوصيات السماوية الحالية وملخص اختبارات الأراضى التى توضح أن ٦٥٪ من الأراضى الزراعية مرتفعة جداً فى الفوسفور.



شكل ٥ - ١٩ ملخص اختبارات التربة بالنسبة للفوسفور في الولايات المتحدة الأمريكية ، عام ١٩٨٩. الأرقام في كل ولاية عبارة عن نسبة عينات الأراضي المختبرة المرتفعة أو الزائدة في الفوسفور. الولايات المحددة بخطوط أكثر وضوحاً بها ٦٠٪ أو أكثر من عينات الأراضي مرتفعة في الفوسفور أو زائدة. (PPI, 1989.)



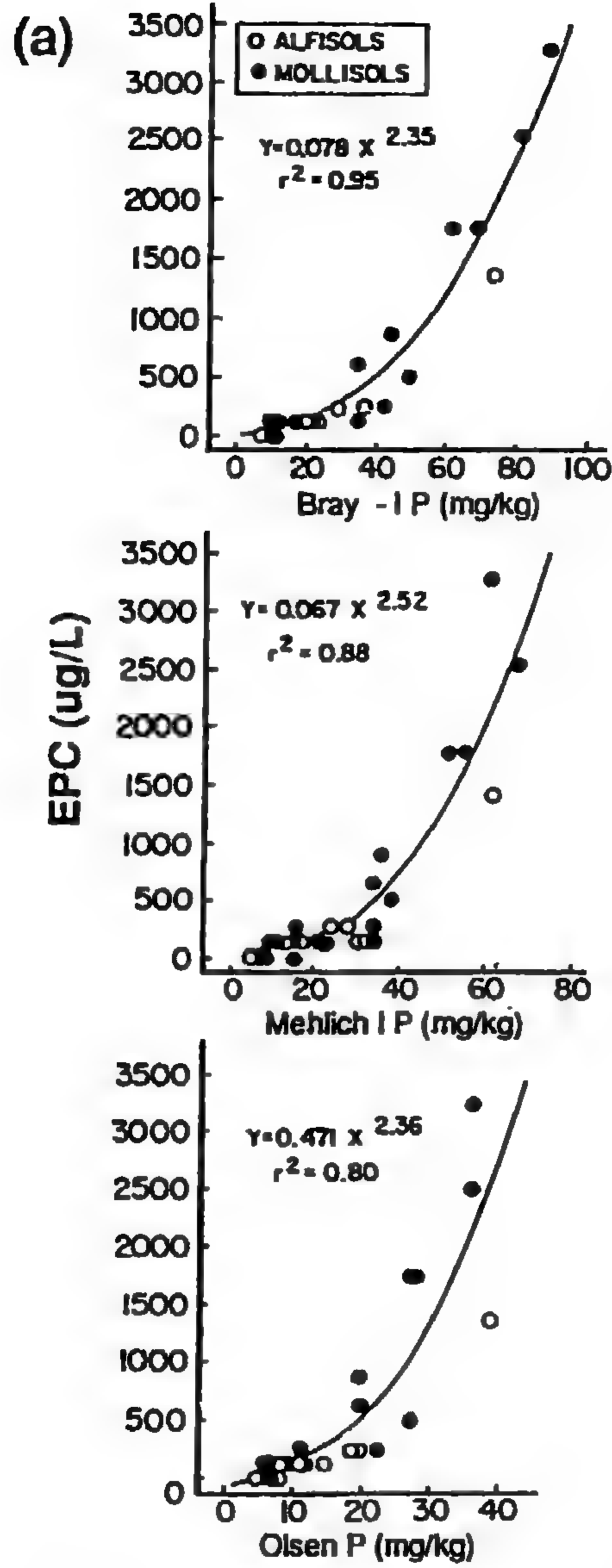
شكل ٥ - ٢٠ النقص في الفوسفور المستخلص بطريقة Mehlich في أرض مزروعة بدورة زراعية من الذرة وفول الصويا لمدة ٢٦ سنة . ولقد تم تأسيس مستويات فوسفور التربة الابتدائية (T= صفر سنة) عن طريق إضافة الفوسفور نثراً دفعة واحدة بمعدل ٢٢٤ كجم/ هكتار أو عن طريق إضافته على خطوط ثمان دفعات كل واحدة منها بمعدل ٦٠ كجم P لكل هكتار. (McCollum , 1991.)

أخرى للمتابعة تحت التقويم تشمل استخدام اختبارات التربة الروتينية لتقدير كمية الفوسفور «الميسر حيويًا» أو «الميسر للطحلب» (شكل ٥ - ٢١)، وتقدير الفوسفور الميسر كميًا تحت التربة لمعرفة عما إذا كان حدث غسيل للفوسفور أو لا، واختبارات سريعة تُحدد سعة ادمصاص الأراضي للفوسفور المضاف، والكثير من هذه الاختبارات لا يتم العمل بها روتينيًا، ولكنها جزء من طريقة اختبار مكثفة جداً تستخدم عندما تقوم الاختبارات الروتينية بتحديد المناطق التي بها مستويات زائدة من فوسفور التربة، وتحتاج بدرجة كبيرة إلى المزيد من الفحوصات الإضافية.

٥ - ٥ - ٢ إدارة فوسفور التربة : التسميد وممارسات الصيانة:

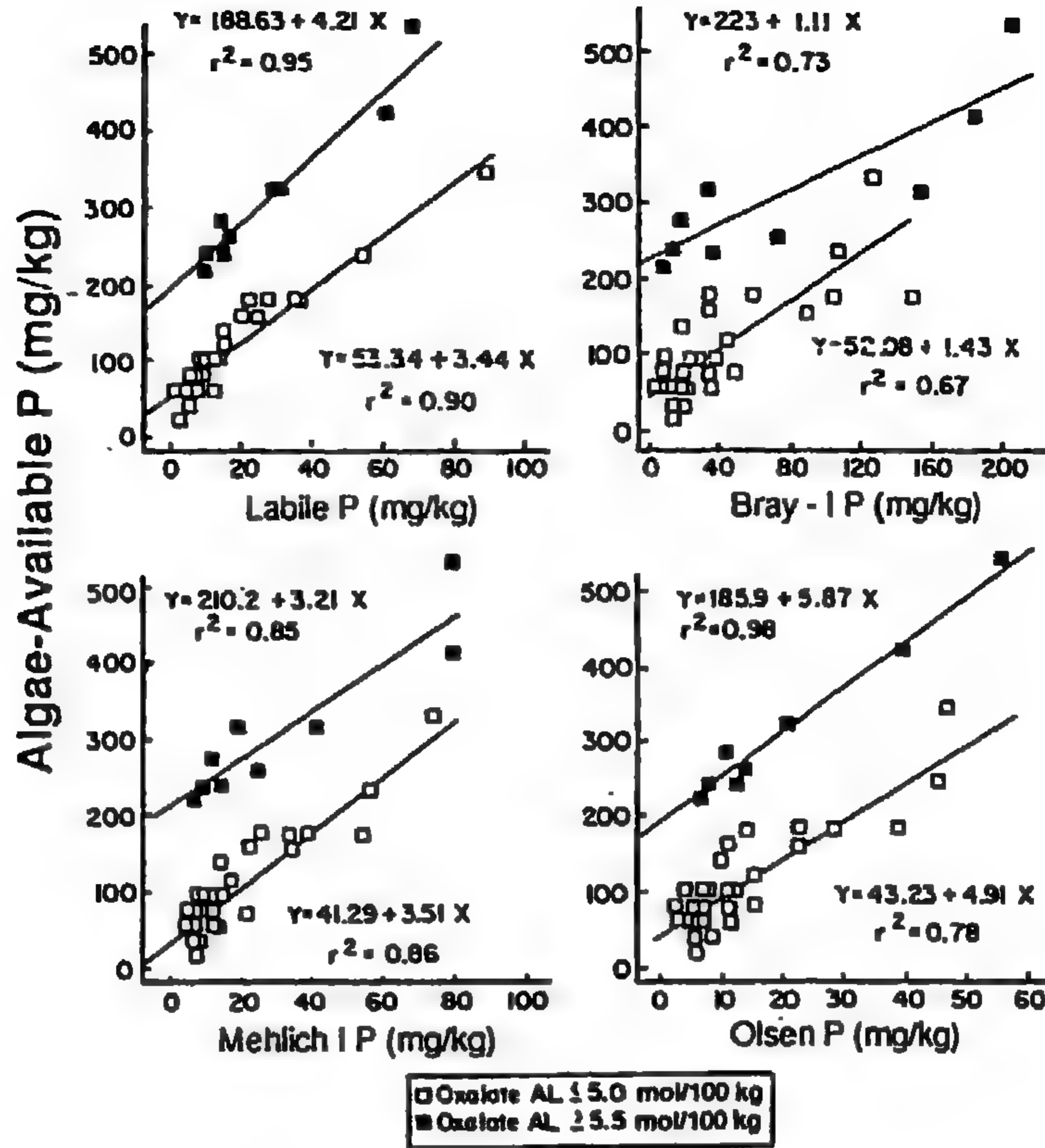
بمجرد أن يتم تحديد الحاجة أو عدم الحاجة إلى فوسفور إضافي، فإن خطوة الإدارة التالية هي اختيار مصدر الفوسفور الأكثر كفاءة، وكذلك تقنية الإضافة، ومن وجهة النظر البيئية، فإن مصدر الفوسفور المستخدم عامة له تأثير بسيط على فقد الفوسفور عن طريق مياه الأمطار السارية أو الغسيل. وبالرغم من ذلك، فإن تقنيات الإضافة وممارسات الحرث يمكن أن تؤثر بدرجة كبيرة في كفاءة امتصاص الفوسفور بواسطة المحصول واحتمال فقد الفوسفور في عملية الانجراف ومياه الأمطار السارية.

وبصفة عامة، فإن أفضل الوسائل كفاءة لتلاشى فقد الفوسفور هي دمج الأسمدة المعدنية والعضوية مع التربة، حيث أن تفاعلات ادمصاص والترسيب سوف تقلل ذوبان الفوسفور وتفاعله مع مياه الأمطار السارية. وتعتبر تقنيات وضع السماد مثل السرسبية في خطوط تحت السطح بالقرب من البذرة أو البادرة طرقاً متفوقة بصفة عامة عن الإضافة بطريقة النثر؛ حيث إنها تقلل المسافة اللازمة لانتشار الفوسفور إلى جنود النبات، كما تقلل أيضاً درجة تلامس الفوسفور السمادي مع حبيبات التربة، كما أن معظم تقنيات دمج كميات كبيرة من أسمدة الفوسفور والمخلفات العضوية تتطلب حرث التربة (الحرث باستخدام المحراث القلاب المطرحي، والمحراث القلاب القرصي)، والذي في الغالب يؤدي إلى فقد التربة وفقد الفوسفور عن طريق



شكل ٥ - ٢١ أمثلة لاستخدام اختبارات الأراضى الروتينية (Olsen P, Mehlich - 1 P, Bray - 1 P) للتنبؤ بدلائل مفيدة فى تقويم التأثير البيئى لفوسفور التربة: (a) EPCo, (b) الفوسفور الميسر حيويًا للطحاب. (Wolf et al ., 1985.)

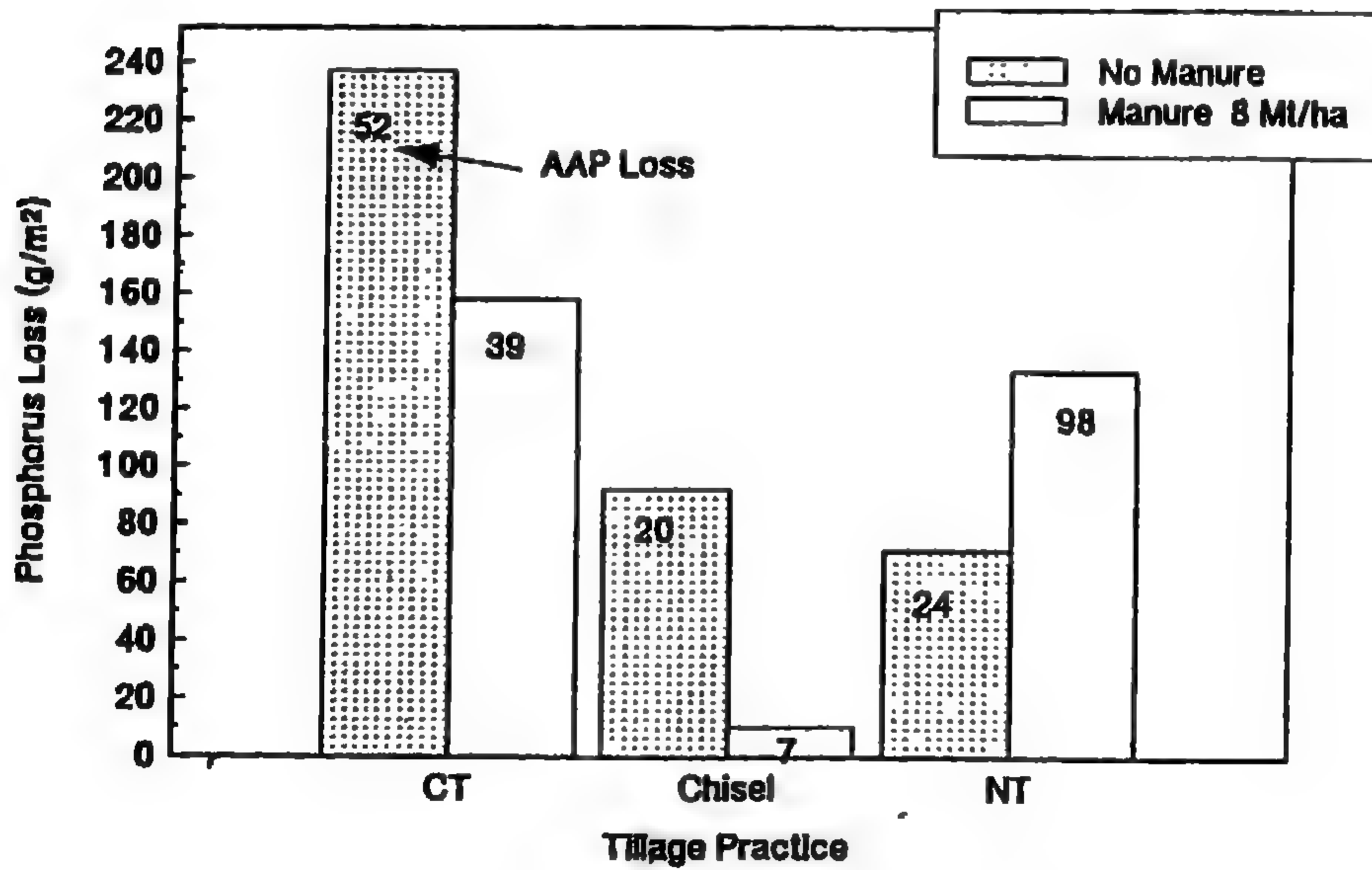
(b)



تابع شكل ٥ - ٢١

الانجراف. وفي السنوات الحديثة تمت دراسة تأثير تنوع ممارسات الحرث لصيانة التربة (بدون حرث، أقل حرث ممكن، حرث باستخدام المحراث الحفار) على فقد الفوسفور من الأسمدة المعدنية والعضوية. وطبقاً لما هو موضح في جدول ٥ - ٤، فإن وجود بقايا المحاصيل على سطح التربة في نظم الحرث للصيانة يمكن أن يقلل فقد الفوسفور بدرجة واضحة، كما يمكن للممارسات الأخرى لمقاومة الانجراف، مثل: الحرث الكنتوري، الزراعة على مصاطب، الشرائح الحاجزة، زراعة ضفاف المجارى

المائية أن تقلل أيضا الانجراف، وسريان مياه الأمطار، ومن ثمّ فقد الفوسفور. ومع ذلك، ففي الحالات الكثيرة التي يستخدم فيها الحرث لغرض الصيانة، إذا لم يُضف السماد المعدني سرسبة في خطوط أو إذا لم يحقن السماد الحيواني في التربة، توضع مصادر الفوسفور هذه مباشرة على سطح التربة بدون دمج. وفي بعض الحالات، بناء على ذلك، فإن عملية الحرث - الحرث للصيانة - التي تُصمم لمقاومة مسألة واحدة بيئية (انجراف التربة، فقد الفوسفور المرتبط بالرواسب) قد تخلق مشكلة أخرى (فقد الفوسفور الذائب) عندما تصبح مستويات الفوسفور في السنتيمترات القليلة العلوية من سطح التربة زائدة بسبب التسميد المعدني أو العضوي الزائد على المدى الطويل، كما أن برامج إدارة العنصر الغذائي التي تحفظ فوسفور التربة عند مستويات معقولة، أو تقلل ممارسات الحرث التي تدمج جزئياً الأسمدة المعدنية والعضوية (مثل الحرث



شكل ٥ - ٢٢ تأثير ممارسات الحراثة واستخدام السماد الحيواني على فقد الفوسفور الكلي والفوسفور الميسر حيويًا للطحلب (AAP = الأرقام في داخل الأعمدة) في مياه الأمطار السارية من حقول الذرة (CT = حرث تقليدي، Chisel = حرث باستخدام المحراث الحفار، NT = بدون حرث). (Mueller, et al., 1984.)

باستخدام المحراث الحفار، شكل ٥ - ٢٢) يمكن أن تساعد في تحاشي مشكلة فقد الفوسفور الذائب الزائد من الأراضي في مياه الأمطار السارية.

وتُعتبر ممارسات الحرث لغرض الصيانة صعبة للغاية، وبصفة خاصة لكى تلائم إضافة المخلفات الحيوانية حيث لا يتوافر الجهاز اللازم لدمج المخلفات بدون حرث. وإن إضافة المخلفات الحيوانية فى صورة صلبة أو سائلة مباشرة إلى سطح الأراضي غير المحروثة ينتج ليس فقط طبقة من الفوسفور فى الأفق العلوى للتربة بها مستويات عالية جداً من الفوسفور موجودة فى الثلاثة سنتيمترات العلوية المعرضة للانجراف، ولكن أيضاً يترك على السطح مادة عضوية أصبحت غنية بالفوسفور، وقابلة للانجراف بدرجة عالية. ومما يُعقّد الأمر أكثر من ذلك تلك الحقيقة التى تعنى أن الأسمدة الحيوانية (والأسمدة المعدنية للفوسفور) يشيع إضافتها بعد موسم النمو، عندما يجد المزارعون وقتاً ميسراً أكثر أو عندما تصبح الأرض المجمدة أكثر سهولة لحركة الآلات خلال الحقول. كما أن الإضافات السطحية لمصادر الفوسفور العضوية وغير العضوية فى الخريف، والشتاء، وأوائل الربيع تشجع احتمال فقد الفوسفور خلال الربيع عندما تسقط الأمطار وينوب الجليد ؛ حيث تحدث أعلى نسبة لسقوط المطر السنوى. وتحدث حالات مماثلة فى الأراضي الزراعية والحضرية التى نادراً ما تُحرث مثل المراعى والمناطق المكسوة بالأعشاب. وفى هذه الحالات، حيث يكون فقد الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة منخفضاً، فإن أحسن إستراتيجية يمكن أن تستخدم هى تلافى الإضافات غير الضرورية للفوسفور التى يمكن أن ينتج عنها فقد مرتفع للفوسفور الذائب.

المراجع :

- Adriano, D. C., Novak, L. T., Erickson, A. E., Wolcott, A. R., and Ellis, B. G., Effect of long term land disposal by spray irrigation of food processing wastes on some chemical properties of the soil and subsurface water, *J. Environ. Qual.*, 4, 242, 1975.
- Alberts, E. E., Neibling, W. E., and Moldenhauer, W. C., Transport of sediment nitrogen and phosphorus in runoff through cornstalk residue strips, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, 1177, 1981.
- Andraski, B. J., Mueller, D. H., and Daniel, T. C., phosphorus losses in runoff as affected by tillage, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49, 1523, 1985.
- Chang, A. C., Page, A. L., Sutherland, F. H., and Grgurevic, E., Fractionation of phosphorus in sludge - affected soils, *J. Environ. Qual.*, 12, 286, 1983.
- Fixen, P. E. and Grove, J. H., Testing soils for phosphorus, in *Soil Testing and Plant Analysis*, Westerman, R. L., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1991, 141.
- Foth, H. D. and Ellis, B. G., *Soil Fertility*. John Wiley & Sons, New York, 1988.
- Gachon, L., Les methodes d'appréciation de la fertilité phosphorique des sols, *Bull. Assoc. Fr. Etude Sol*, 4, 17, 1969.
- Guertal, E. A., Eckert, D. J., Traina, S. J., and Logan, T. J., Differential phosphorus retention in soil profiles under no - till crop production, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55, 410, 1991.
- Hergert, G. W., Bouldin, D. R., Klausner, S. D., and Zwerman, P. J., Phosphorus concentration - water flow interactions in tile effluent from manured land, *J. Environ. Qual.*, 10, 338, 1981.
- Jones, C. A., Cole, C. V., Sharpley, A. N., and Williams, J. R., A simplified soil and plant phosphorus model. I. Documentation, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48, 800, 1984a.
- Jones, C. A., Sharpley, A. N., and Williams, J. R., A simplified soil and plant phosphorus model II Testing, *Soil Sci. Am. J.*, 48, 810, 1984b.
- Lemunyon, J. L. and Gilbert, R. G., Concept and need for a phosphorus assessment tool, *J. Prod. Agric.*, in Press.
- McCollum, R. E., Buildup and decline in soil phosphorus: 30 - year trends on a typic umprabuilt, *Agron. J.*, 83, 77, 1991.

- Mozaffari, P. M. and Sims, J. T., Phosphorus availability and sorption in an Atlantic Coastal Plain watershed dominated by animal - based agriculture, Soil Sci., in press.**
- Mueller, D. H., Wendt, R. C., and Daniel, T. C., Phosphorus losses as affected by tillage and manure application, Soil Sci. Soc. Am. J., 48, 901, 1984.**
- Payer, F. S. and Weil, R. R., Phosphorus renovation of wastewater by overland flow application, J. Environ. Qual., 16, 391, 1987.**
- Pierzynski, G. M. and Logan, T. J., Crop, soil, and management effects on phosphorus soil test levels, J. Prod. Agr., in Press.**
- Potash and Phosphate Institute (PPI), Soil test summaries: phosphorus, potassium and pH, Better Crops, 74, 16, 1989.**
- Ryding, S. O., Enell, M., and White, R. E., Swedish agricultural nonpoint source pollution: a summary of research and findings, Lake Resery. Manage., 6, 207, 217, 1990.**
- Sanchez, P. A. and Uehara, G., Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity, in The Role of Phosphorus in Agriculture, Khasawneh, F. E., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1980, 471.**
- Sharpley, A. N., The selective erosion of plant nutrients in runoff, Soil Sci. Soc. Am. J., 49, 1527, 1985.**
- Sharpley, A. N. and Halvorson, A., The management of soil phosphorus availability and its transport in agricultural runoff, Adv. Agron., 1994.**
- Sharpley, A. N., Smith, S. J., Stewart, B. A., and Mathers, A. C., Forms of phosphorus in soil receiving cattle feedlot waste, J. Environ. Qual. 13, 211, 1984.**
- Sims, J. T., Environmental management of phosphorus in agricultural and municipal wastes, in Future Directions for Agricultural phosphorus Research, Bulletin Y- 224, National Fertilizer and Environmental Research Center, Muscle Shoals, AL, 1992, 59.**
- Sims, unpublished data.**
- Weidner, K., Murky water, Pa State Agric., Spring/Summer, 2, 19, 1988.**
- Wolf, A. M., Baker, D. E., Pionke, H. B., and Kunishi, H. M., Soil tests for estimating labile, soluble, and algae - available P in agricultural soils, J. Environ. Qual., 14, 341, 1985.**
- Young, R. D., Westfall, D. G., and Colliver, G. W., Production, marketing, and use of phosphorus fertilizers, in Fertilizer Technology and Use, Engelstead, O. P., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1985.**

مراجع مساعدة :

- Mason, C. F., Biology of Freshwater Pollution, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1991.**
- Sharpley, A. N. and Menzel, R. G., The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment, Adv. Agron., 41, 297, 1987.**
- Stewart, J. W. B. and Sharpley, A. N., Controls on dynamics of soil and fertilizer phosphorus and sulfur, in Soil Fertility and Organic Matter as Components of Production, Follett, R. F., Stewart, J. W. B., and Cole, C. V., Eds., SSSA Spec. Pub. 19, American Society of Agronomy, Madison, WI, 1987, 101.**
- Syers, J. K. and Curtin, D., Inorganic reactions controlling phosphorus cycling, in phosphorus Cycles in Terrestrial and Aquatic Ecosystems, Tiessen, H., Ed., UNDP, Saskatchewan Institute Pedology, Saskatoon, Canada, 1988, 17.**
- Taylor, A. W. and Kilmer, V. J., Agricultural phosphorus in the environment, in The Role of phosphorus in Agriculture, Khasawneh, F. E. Sample, E. C., and Kamprath, E. J., Eds., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1980, 545.**

الفصل السادس

كبريت التربة والجودة البيئية

٦ - ١ الكبريت والبيئة:

الكبريت (S) عنصر غذائي ضروري، وهو مكون مطلوب لجميع النظم الحيوية بما فيها النبات، والحيوان، والإنسان. وبالرغم أن نقص الكبريت وسميته ذكرت بالنسبة لكل من النباتات والحيوانات، إلا أن الحالات التي تشمل نقص الكبريت في النباتات فقط هي الأكثر أهمية؛ بسبب أن المناطق التي بها نقص في الكبريت معروفة على مستوى العالم. والكبريتات (SO_4^{2-}) هي الصورة السائدة لكبريت التربة التي تمتص بواسطة النباتات، ولكنها ليست الصورة السائدة في التربة؛ وهذا يفسر - ولو على الأقل جزئياً - السبب في أن مناطق معينة قد يظهر بها نقص الكبريت للنبات. وإن مواد الأصل المنخفضة في الكبريت، والمطر الغزير، والغسيل الكثيف، والأراضي التي تعرضت لتجوية شديدة، جنباً إلى جنب مع الترسيب الفقير في الكبريت من الغلاف الجوي، جميعها ظروف شائعة تصف المناطق الناقصة في الكبريت.

ويوجد الكبريت في الطبيعة في صور عديدة عضوية وغير عضوية، وهي جزء من بيوجيو كيمياء دورة الكبريت العالمية (انظر الفصل التاسع، مناقشة الدورات البيوجيو كيميائية). وتعتبر مصادر الكبريت الرئيسية جزءاً من الليثوسفير، ويشبه في ذلك الفوسفور. ومع ذلك، فإن دورة الكبريت العالمية تشبه كثيراً دورة النتروجين، بالرغم من أن مصدر النتروجين الرئيسي هو الغلاف الجوي. ومعظم الكبريت الذي يتم تنويره خلال الغلاف الجوي يحدث نتيجة أنشطة الإنسان؛ بالرغم أن مصدر الكبريت من الغلاف الجوي صغير، ومتوسط زمن البقاء (MRT) لمركبات الكبريت تؤدي إلى تنوير

للكبريت خلال الغلاف الجوى أكثر من النتروجين (بمعنى أن انطلاق الكبريت أكبر من انطلاق النتروجين). وفى الأراضى، فإن تحولات الكبريت تسيطر عليها بصفة مبدئية العمليات البيوكيميائية، والتي تلعب أيضاً دوراً مهماً فى تيسر الكبريت للنباتات.

وفى هذا الفصل سوف نناقش دور الكبريت فى النظم البيئية المختلفة الزراعية، والغابات، وأراضى المناجم، والمائية، مع تركيز خاص على الجانب البيئى للكبريت من ناحية: البيوجيوكيمياء، والصور العضوية وغير العضوية، والادمصاص، والتحويلات، والتغذية، والإدارة.

٦ - ١ - ١ أهمية الكبريت :

مثل النتروجين، فإن الكبريت عنصر غذائى ضرورى فى الأحماض الأمينية العديدة التى تكون جزءاً من بروتين النبات والحيوان ، والكبريت أيضاً مكون مهم فى الفيتامينات والهورمونات ، ويلعب الكبريت دوراً نشطاً فى التركيب البنائى للنبات وعمليات البناء الغذائى، وهو عنصر مهم للحيوانات حيث يؤدى الكبريت وظائف متعددة فى عمليات البناء، والتمثيل الغذائى (أو تحول المواد)، وجهاز التنظيم. وينظر إلى الكبريت غالباً على أنه عنصر غذائى ضرورى للنبات؛ لأنه حتى وقت قريب جداً كان نقص الكبريت محدوداً للغاية. ولقد ناقشنا أهمية الكبريت فى تغذية النبات وتقدير تيسر الكبريت فى الأقسام ٦ - ٤ - ١ ، ٦ - ٤ - ٢ فيما بعد.

وبالنسبة للحيوانات، تعتبر الأحماض الأمينية المحتوية على كبريت مكونات متكاملة (متمة) لكثير من المركبات البيوكيميائية بما فى ذلك البروتينات، والإنزيمات، وبعض الهورمونات ، كما تعتبر المركبات العضوية البيوكيميائية المحتوية كبريت أجزاء مهمة فى عظام الحيوانات، والأوتار، والغضاريف، والجلد، وصمامات القلب، والكولاجين هو بروتين البناء الرئيسى فى الحيوانات، ويحتوى أحماض أمينية كبريتية. وبالنسبة للإنزيمات، يلعب الكبريت دوراً مهماً فى نشاط الإنزيم ووظيفته. وقد يظهر نقص الكبريت فى الحيوانات على صورة: نقص فى الوزن، والكسل أو البلادة، ونقص

فى إنتاج اللبن، أو البيض، أو الصوف؛ وأعراض أخرى؛ وفى حالة طول مدة نقص الكبريت، يمكن أن تحدث الوفاة.

إن صورة الكبريت التى تزود بها الحيوانات حرجة؛ حيث إن الحيوانات غير المجترة غير قادرة على استخدام المركبات غير العضوية. والحيوانات المجترة، مثل الأغنام والماشية، قادرة على تمثيل صور الكبريت غير العضوية خلال نشاط الكائنات الدقيقة فى المعدة الأولى لها. والإمداد الثابت للكبريت مطلوب لغرض تحقيق نمو سليم سواءً للنباتات أو الحيوانات، ولكنه مطلوب بصفة خاصة للحيوانات بسبب أن الكبريت لا يختزن داخل أجسامها.

إن سمية الكبريت مشكلة خطيرة للنباتات والحيوانات؛ فبالنسبة للنباتات، تظهر السمية خلال النمو المتأخر، والاصفرار بين العروق الذى يمتد على طول حدود الورقة، والشيخوخة المبكرة للأوراق. ومع ذلك، وباستثناء الموالح، يبدو أن معظم المحاصيل لا تتأثر بزيادة الكبريتات؛ وبالنسبة لهذه النباتات التى تظهر عليها أعراض السمية، بصفة عامة فإن الكاتيون المرافق هو الذى يسبب الضرر. وفى قسم ٦ - ٤ تمت مناقشة التأثير السام لمركبات غاز ثانى أكسيد الكبريت، وغاز كبريتيد الهيدروجين على النباتات. أما بالنسبة للحيوانات، فسمية الكبريت بصفة أولية دالة لأنواع الكبريت. وتقاسى الحيوانات المجترة من سمية الكبريت عند استخدام كبريتات الأمونيوم أو الجبس كمصادر غير بروتينية للنتروجين أو كمصادر للكالسيوم. وتقاسى الحيوانات غير المجترة من سمية الكبريت عند استخدام كميات زائدة من الأحماض الأمينية المحتوية كبريت، خاصة الميثيونين، فى النظام الغذائى لها (الحمية).

٦ - ١ - ٢ التأثير البيئى للكبريت :

إن بعض الاهتمامات البيئية التى ترتبط بالكبريت مدونة فى جدول ٦-١. يتكون الترسيب الحامضى نتيجة أكسدة الكبريت والنتروجين فى الهواء الجوى، وسوف يناقش فى الفصل العاشر. وتحدث الأراضي الحامضية والصرف الحامضى للمناجم

جدول ٦ - ١ التأثيرات البيئية التي يسببها الكبريت.

الموضوع البيئي	وصف المشكلة
الترسيب الحامضي	يؤدي تكوين حامض الكبرتيك في الغلاف الجوي إلى ترسيب رطب (المطر ، الجليد ، الندى ، الضباب) وترسيب جاف (المواد العالقة) ، وهي ضارة للكساء الخضري ، والمياه السطحية ، والمباني ، والإنشاءات ، والإنسان ؛ انظر جدول ٤ - ١ عن التأثيرات البيئية التي سببها النتروجين ، الفصل العاشر فيما يخص مناقشات تفصيلية عن الترسيب الحامضي
أراضي الكبريتات الحامضية	تنتج بسبب انطلاق حامض الكبرتيك في الأراضي خلال أكسدة المواد الكبريتيدية التي يشيع وجودها في المناطق الساحلية وفي مناطق تعدين الفحم الحجري.
صرف المناجم الحامضي	يؤدي تأكسد الصور المختزلة للكبريت من أنشطة التعدين إلى إنتاج حامض كبرتيك ، وهذا يمكن أن يؤثر على الأراضي والمياه السطحية في البيئة المحيطة.
النشاط الجيولوجي	يخرج من الينابيع المائية الحارة وأماكن انطلاق الحرارة الأرضية كميات كبيرة من مركبات الكبريت الغازية والذائبة إلى سطح الكرة الأرضية ؛ ويمكن أن يموت الغطاء النباتي في المنطقة المحيطة بسبب الأراضي شديدة الحموضة المتكونة ؛ كما تم تسجيل رقم حموضة pH منخفض جدا وصل إلى ٩ ، ٠ في الحديقة الوطنية في Yellowstone ، بولاية Wyoming.

تلوث المياه الجوفية	مستويات الكبريتات العالية تجعل المياه الجوفية غير صالحة للاستهلاك الآدمي والحيواني .
سمية الكبريت للحيوانات	تقاسى الحيوانات المجترة وغير المجترة من سمية الكبريت ؛ فالحيوانات المجترة سريعة التأثر بكبريتات الأمونيوم والجبس عندما تستخدم هذه المواد كمصادر غذاء غير بروتينية للنتروجين أو الكالسيوم على الترتيب ؛ كما أن الحيوانات غير المجترة سريعة التأثير بالأحماض الأمينية الكبريتية خاصة الميثيونين عند استخدامها فى غذائها ؛ وعموما فإن الماشية حساسة أيضا لكبريتيد الهيدروجين (Goodrich and Garrett , 1986.)

عندما تتأكسد المعادن ومركبات الكبريت المختزلة، مكونة حامض كبريتك. ومن أمثلة صرف المناجم الحامضى المواقع كثيرة الانتشار فى مناطق المناجم غير النشطة أو المهجورة ، وفى عام ١٩٦٩، كان مصدر ٧٨٪ من صرف المناجم الحامضى مرتبطاً بمناجم الفحم غير النشطة أو المهجورة. ويعزى تدهور ١٦٠٠٠ كم من الجداول إلى صرف المناجم الحامضى. ويمكن أن يؤثر النشاط الجيوحرارى فى النظم البيئية المحيطة بالتربة والنبات عن طريق انطلاق كميات معنوية من الكبريت الغازى والذائب فى الهواء الجوى. والكبريتات درجة ذوبان عالية، ومعروف عنها أنها تتراكم فى المياه الجوفية للبيئات الجافة ونصف الجافة. ولقد تم وضع ٢٥٠ جزء فى المليون (مليجرام كبريتات فى اللتر) كمعيار لمياه الشرب ؛ بسبب أن الكبريتات وجد أنها تعمل كملين (مسهلة) لبعض الحيوانات والإنسان. وذكرت سابقا سمية الكبريت للحيوانات.

لقد أدت عمليات حرق الفحم الحجري، وتكرير البترول، ومعالجة النحاس، والرصاص، والزنك، والنيكل إلى انبعاث كميات هائلة من الكبريت فى الجو كل عام (جدول ٦ - ٢). وتراوح التقديرات العديدة تقريبا ما بين ٢٠ إلى أكثر من ٥٠٪ من

كمية الكبريت الداخلة إلى الهواء الجوى والتي أصلها المصادر السابقة. وفي المناطق الصناعية، حيث ينطلق معظم الكبريت، أدى الترسيب الحامضى (ترسيب جاف أو رطب يحتوى مستويات عالية من حمض الكبرتيك) إلى مشاكل عديدة تُواجهها حاليا كثير من الدول على مستوى العالم. والترسيب فى المناطق المتأثرة به يمكن أن يكون له رقم حموضة أقل من ٤، بينما الأمطار فى كثير من المناطق غير الصناعية يمكن أن يكون لها أرقام حموضة من ٦ - ٧، وهذا يقترح ١٠٠ - ١٠٠٠ ضعف زيادة فى تركيز أيونات الهيدروجين (لترسيب فى المناطق الصناعية عن المناطق غير الصناعية).

وتختلف كمية الكبريت التى تسقط سنويا فى مياه الأمطار اعتمادا على طبيعة المصادر وعلاقتها بالإنسان وتطور أنشطته. وحيث أن النباتات تحتاج ٩ - ٣٩ كجم كبريت/ هكتار لانتاج محصول متوسط، فإن بعض المناطق تستفيد من الكبريت المضاف فى مياه الأمطار. وفى المناطق غير الصناعية، قد تكون كمية الكبريت كافية لانتاج محصول وفير باستمرار. فعلى سبيل المثال، تم حساب الكبريت (كجم/هكتار) فى الترسيب بالنسبة للمناطق الحضرية (غير الصناعية) والريفية العديدة فى الولايات المتحدة، ووجد أنه ١ - ٣٧ فى الولايات الجنوبية الشرقية، ٤ - ٤٢ فى ولايات وسط الغرب، ٥ - ١٧ فى ولايات مركز الشمال. ولقد تمت مقارنة ترسيب الكبريت فى المناطق الحضرية والريفية لأقطار أخرى بما ذكر سابقا، ووجد أنه ٢ - ١٦ فى كندا، ١٣ - ٢٧ فى الصين، ١٠ - ٢٠ كجم كبريت/ هكتار فى الاتحاد السوفيتى السابق.

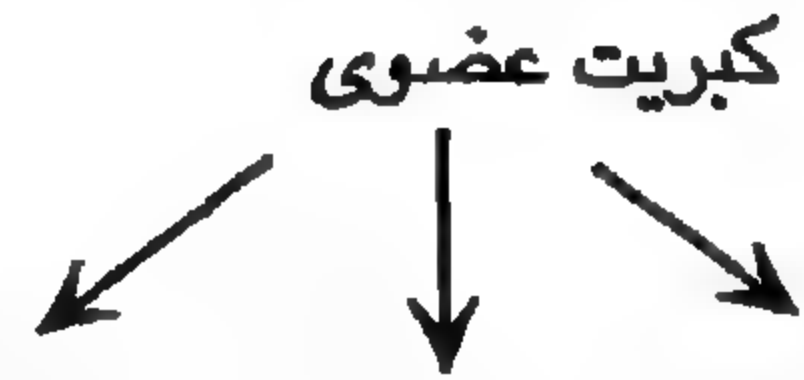
٦ - ٢ دورة الكبريت العالمية :

يوجد الكبريت فى صور كيميائية مختلفة عضوية وغير عضوية فى داخل بيئات الغلاف الجوى، والغلاف المائى، والتربة. ويوجد كبريت التربة فى هيئة أنواع مائية مثل الكبريتات، وصور صلبة تتكون من مادة معدنية ومكونات عضوية من أصل نباتى، وحيوانى، وميكروبي، وأنواع غازية. وتتراوح حالات التأكسد للكبريت من - ٢ إلى + ٦ (انظر جدول ٦ - ٢ لأمثلة من حالات التأكسد لأنواع كبريت غير عضوية وغازية). وعندما يحدث تدوير للكبريت خلال النظم البيئية للغلاف الجوى، والغلاف المائى،

جدول ٦ - ٢ تقدير انبعاثات الكبريت على مستوى العالم من المصادر الصناعية المختلفة.

المصدر	الكبريت المنبعث (أجم/ سنة)	المصدر	الكبريت المنبعث (أجم/ سنة)
الفحم الحجري	٥١	مسابك الكروميوم	٧ر٥
الليجنيت (فحم حجري	١٧,٥	تنقية النحاس	١ر٤
بنى + بيت)		سبك الرصاص	٠ر٨
فحم الكوك (قوالب)	١,٣	سبك الزنك	٠ر٥
مجموع الفحم	٦٩,٨	سبك النيكل	٠ر٨
تكرير البترول	٣ر٢	مجموع عمليات المعادن	١١ر٠
جازولين المحركات	٠ر٤	صناعة حامض الكبريتيك	١ر٣
كيروسين	٠ر١	الحرق	٠ر٣
وقود + ديزل	١ر٧	اللب والورق	٠ر٣
كوك البترول	٠ر٢	مجموع هذه المتنوعات	١ر٩
زيوت الوقود المتبقية	١٨ر٠		
مجموع البترول	٢٣,٦	المجموع انبعاثات الكبريت على مستوى العالم	١٠٦ر٣

والترية، تحدث تحولات عديدة له - بسبب العمليات البيوكيميائية والكيميائية - وتتكون أنواع من الكبريت لها حالات تأكسد مختلفة. فعلى سبيل المثال، كبريتيد الكربونيل (COS)، أكثر غازات الكبريت انتشاراً في الجو، يتأكسد إلى كبريتات أو يمتص بواسطة النباتات ويتحول في عملية التمثيل الغذائي. وتستخدم الكبريتات الداخلة في الأراضي بواسطة النباتات والكائنات الدقيقة وبواسطتهم تختزل الكبريتات في عملية تكوين أحماض أمينية، وبروتينات، ومركبات أخرى بيوكيميائية تحتوي كبريت. وينتج عن تحليل المادة العضوية انطلاق لصور الكبريت المؤكسد والمختزل؛ ويتوقف هذا على الظروف البيئية التي يلعب فيها الأكسجين دوراً سيادياً. ولقد اقترحت مسارات عديدة لتحول مركبات الكبريت العضوى إلى مركبات كبريت متطاير تشمل مايلي:



كبريتات ← سستين ← ميثونين ← مركبات كبريت متطايرة (٦ - ١)

وتعتبر العمليات الفيزيائية مثل حركة الكبريت على هيئة أترية، والترسيب الرطب والجاف، وتفاعلات الترسيب - الذوبان بما فيها المواد المتطايرة للكبريت، مسؤولة أيضاً عن تحول الكبريت وانتقاله من نظام بيئي إلى آخر.

ويُعدّ أكبر مصدر للكبريت هو ذلك الموجود في الليثوسفير، يليه الهيدروسفير (الغلاف المائي)، وأخيراً الغلاف الجوى الذى يحتوى فقط على كمية بسيطة من الكبريت (جدول ٦ - ٤). وعلاوة على ذلك، فإن أكبر احتياطي للكبريت يوجد في رواسب البيريت، والطفلة، والمواد المتطايرة. وفي الأراضي، يتراوح تركيز الكبريت من منخفض حوالى ٠.٠٢٪ في الأراضي خشنة القوام المغسولة التى حدثت لها تجوية عالية في المناطق الرطبة، إلى أكبر من ٥٪ في الأراضي الجبسية الحديدية (الحديد وجبسية) في المناطق الجافة ونصف الجافة، وفي الأراضي الناشئة من مستنقعات المد والجزر. وكبريت التربة تسوده الصور غير العضوية والعضوية، والنسبة بين الاثنين تختلف طبقاً لخواص الأراضي (رقم الحموضة، حالة الرطوبة، محتوى المادة العضوية والطين)، وعمق التربة، والظروف المناخية.

جدول ٦ - ٢ صور الكبريت غير العضوية في البيئة.

الصيغة الكيميائية	المركب	الفئة	متوسط حالة التأكسد
S^{2-}	أيون كبريتيد	كبريتيدات	- ٢
HS^-	أيون باي كبريتيد		
H_2S	كبريتيد الهيدروجين		
COS	كبريتيد الكربونيل		
S_2^{2-}	داي كبريتيل	كبريتيدات عديدة	- ١
FeS_2	بيريت		
S^0	الكبريت	عنصر	صفر
$S_2O_3^{2-}$	أيون ثيوكبريتات	ثيوكبريتات	+ ٢ *
$HS_2O_3^-$	أيون باي ثيوكبريتات		
$H_2S_2O_3$	حمض ثيوكبرتيك		
SO_3^{2-}	أيون كبريتيت	كبريتيات	+ ٤
HSO_3^-	كبريتيت الهيدروجين		
SO_2	ثاني أكسيد الكبريت		
SO_4^{2-}	أيون الكبريتات	كبريتات	+ ٦
HSO_4^-	باي كبريتات		
H_2SO_4	حمض كبرتيك		

(Stevenson, 1986.)

* حالة تأكسد الكبريت في الثيوكبريتات هي - ٢ ، + ٦ بمتوسط قدره + ٢.

وفى دورة الكبريت، فإن تحول الكبريت من مصدر إلى آخر يحدث عند معدل يتناسب طردياً مع الكمية الداخلة والخارجة لمصدر ما، وله علاقة بانطلاق الكبريت (شكل ٦ - ١). وبالرغم أن كميات صغيرة من الكبريت تتحول من مصدر كبريت إلى مصدر آخر، إلا أن الإنسان له تأثير هائل على انطلاق الكبريت السنوى للغلاف الجوى. ومثلما أن الزيادة فى المواد الكربونية الداخلة إلى الغلاف الجوى بدأت منذ العصر الصناعى (انظر الفصل العاشر)، كذلك أيضاً تزداد المواد الكبريتية. وعلى مدى المائة عام الماضية، تضاعف معدل الكبريت الداخلى للغلاف الجوى عن طريق انبعاثات ناتجة من حرق الفحم الحجري، وهى حالياً حوالى 5×10^{10} كجم كبريت فى السنة. ومع مرور الزمن، فإن كمية الكبريت المؤكسد تزداد، والبعض منها يعود إلى سطح الأرض كترسيب رطب وجاف (أى الترسيب أو المطر الحامض). وتوجد فى الفصل العاشر مناقشات أوسع من ذلك على ترسيب الكبريت والنتروجين من الهواء الجوى.

وتُعتبر دورة كبريت التربة مشابهة فى كثير من النواحي لدورة النتروجين ودورة الفوسفور حيث يتأثر كل منهم بالعمليات البيوكيميائية والكيميائية. ويوضح شكل ٦ - ٢ دورة الكبريت - التى تركز على تحولات كبريت التربة، والنبات، والحيوان. وتوجد أربع صور سائدة للكبريت فى الأراضى وتشمل مركبات الكبريت المعدنى، والكبريتيدات، والكبريتات، والكبريت العضوى. وتنتج إضافات الكبريت الذائب إلى التربة من التجوية المعدنية، والترسيب من الهواء الجوى، والتسميد (ومحسّنات التربة الأخرى)، وتحلل النبات والحيوان والمادة العضوية. ويحدث فقد الكبريت من الغسيل، ومياه الأمطار السارية على السطح، وإزالة المحصول. ويتوسط التحولات التى تحدث بين صور الكبريت العديدة بصفة مبدئية عمليات بيوكيميائية ستناقش فيما بعد بتفصيل أكبر فى هذا الفصل.

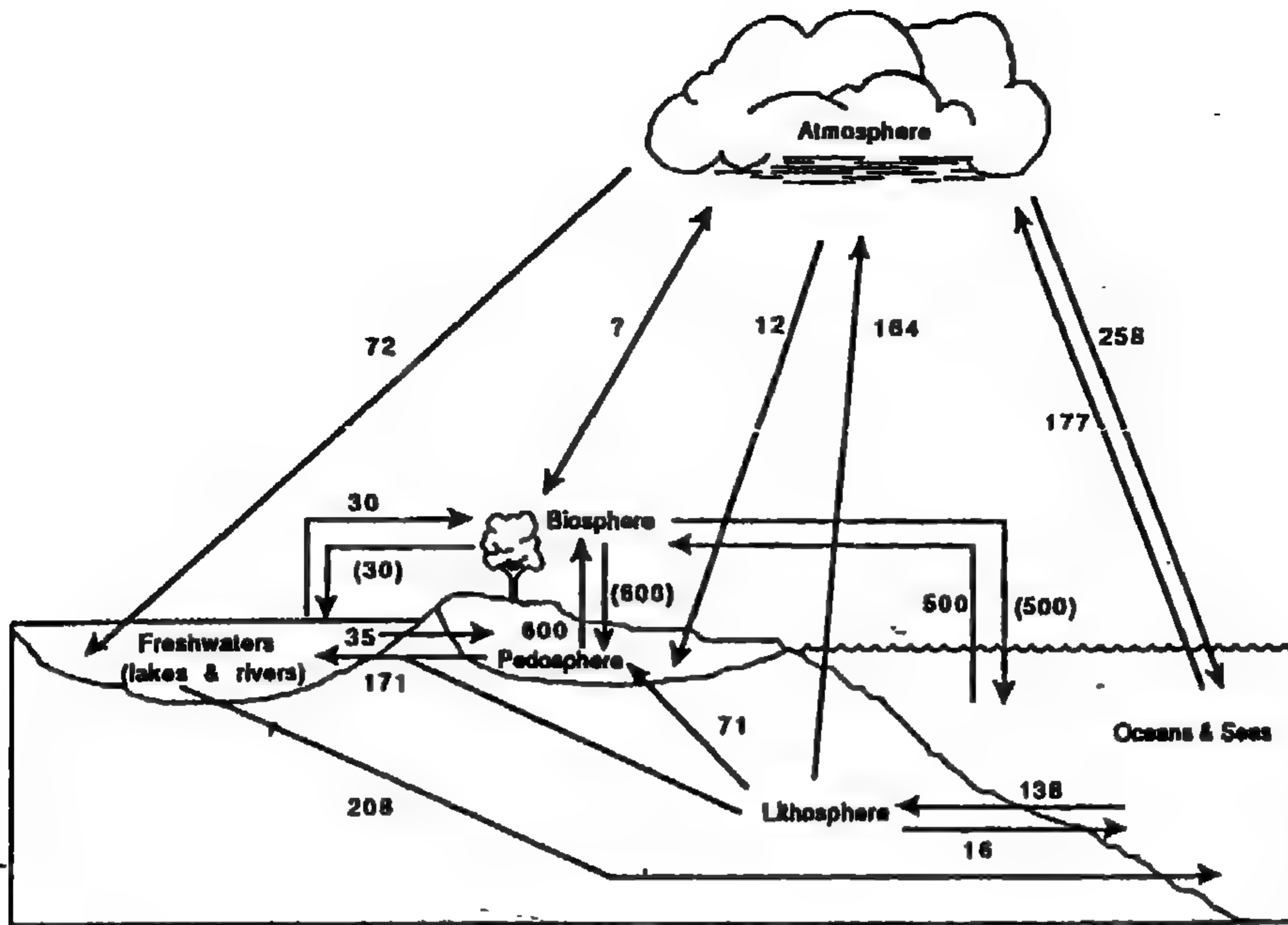
٦ - ٢ - ١ الكبريت غير العضوى فى الأراضى :

توجد فى الأراضى صور عديدة للكبريت غير العضوى (جدول ٦-٣)؛ وفى الأراضى جيدة الصرف، يوجد الكبريت غير العضوى بصفة أساسية فى صورة

جدول ٦ - ٤ كتلة الكبريت في مصادره الرئيسية.

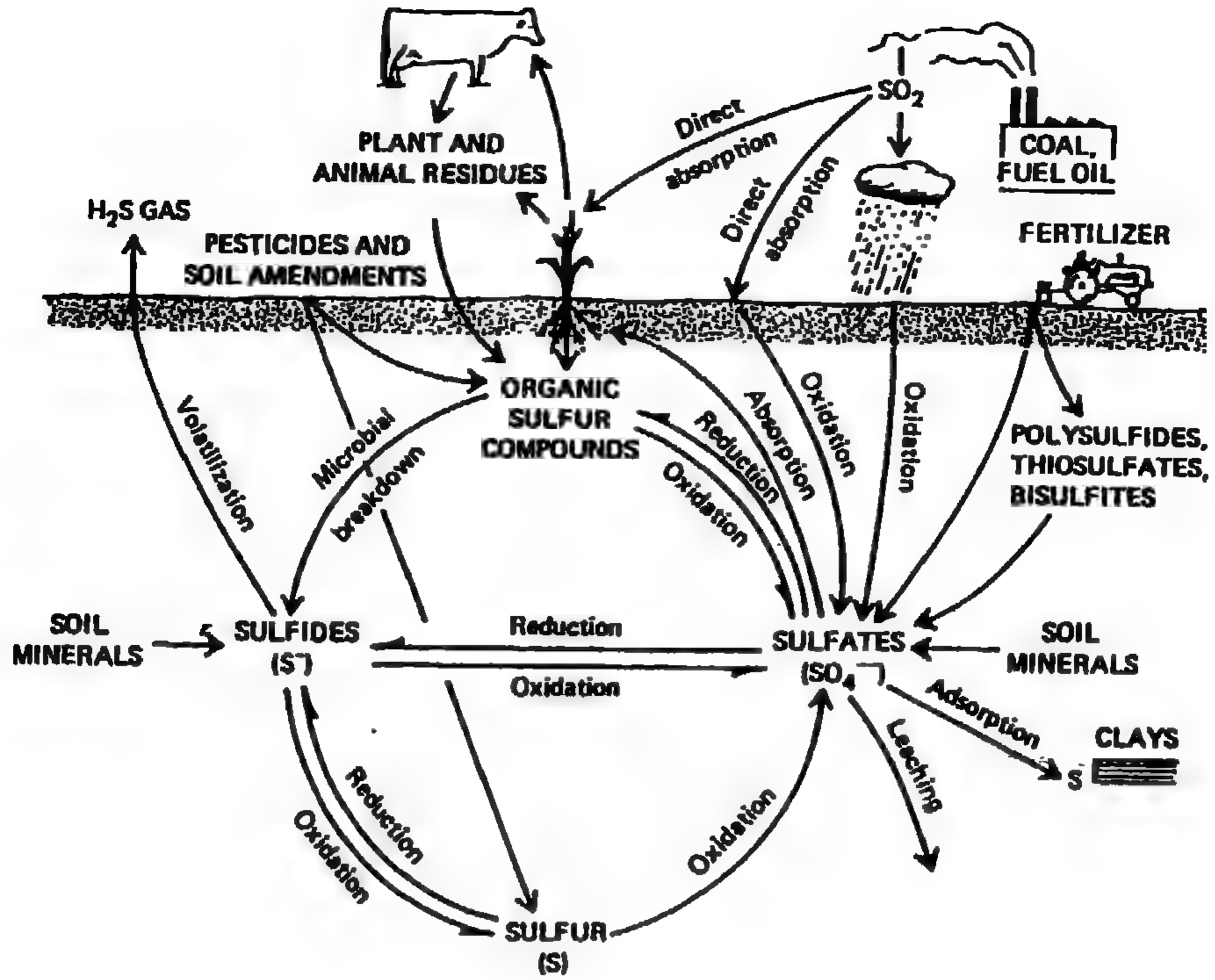
المصدر	الكتلة كجم S
الغلاف الجوى	٩١٠ x ٣٦
الغلاف المائى	١٨١٠ x ١٣
المحيطات	١٨١٠ x ١٣
الكائنات البحرية	١٠١٠ x ٢٤
الماء العذب	١٢١٠ x ٣٠
الثلج	١٢١٠ x ٦,٠
الغلاف الأرضى	١٨١٠ x ٢٤,١
صخور نارية	١٨١٠ x ٥٠
صخور متحولة	١٨١٠ x ١١٤
صخور رسوبية	١٨١٠ x ٧٧
أملاح متبخرة	١٨١٠ x ٥١
طفلة	١٨١٠ x ٢٠
حجر جيرى	١٨١٠ x ٠١
حجر رملى	١٨١٠ x ٠٣
أراضى	١٤١٠ x ٢٦
مادة عضوية فى الأراضى	١٣١٠ x ١٠
الغلاف الحيوى	١٢١٠ x ٧٦

(Freney, 1986 and Trudinger, 1986.)



شكل ٦ - ١ تحويلات الكبريت بين مصادره المختلفة . الأرقام معطاة في أجم / سنة (أجم = 10^{12} جم).
وقد افترض وجود اتزان للكبريت (المدخلات = المخرجات) بين الغلاف الحيوي والغلاف الجوي.
(Trudinger , 1986.)

كبريتات إما ذائبة، أو مدمصة، أو حالة صلبة. وتعتبر الأراضي المحتوية أكاسيد مائية للألمنيوم والحديد قادرة على ادمصاص الكبريتات وتمنعها من الغسيل. وتوجد الصورة الصلبة للكبريت، الجبس ($\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)، بصفة أولية في الأراضي الجيرية في المناطق الجافة ونصف الجافة؛ وقد توجد أيضا CaSO_4 في صورة معدنية مترسبة بالاشتراك ومرتبطة مع كربونات الكالسيوم (الحجر الجيري)، كما توجد صور معدنية أخرى صلبة للكبريتات أقل شيوعاً، وتشمل : الباريت Ba SO_4 ، والسيليسيت Sr SO_4 ، والجاروسيت $[\text{K Fe}_3 (\text{OH})_6 (\text{SO}_4)_2]$ ، وكوكوينبيت $[\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$ وفي الأراضي اللاهوائية مثل الأراضي الغدقة (الرطبة)، ومستنقعات المد والجزر، والأراضي رديئة الصرف، تصبح الصور المختزلة للكبريت هي الشائعة ويمكن أن تشمل S^0 ، H_2S ، Fe S_2 ، FeS .

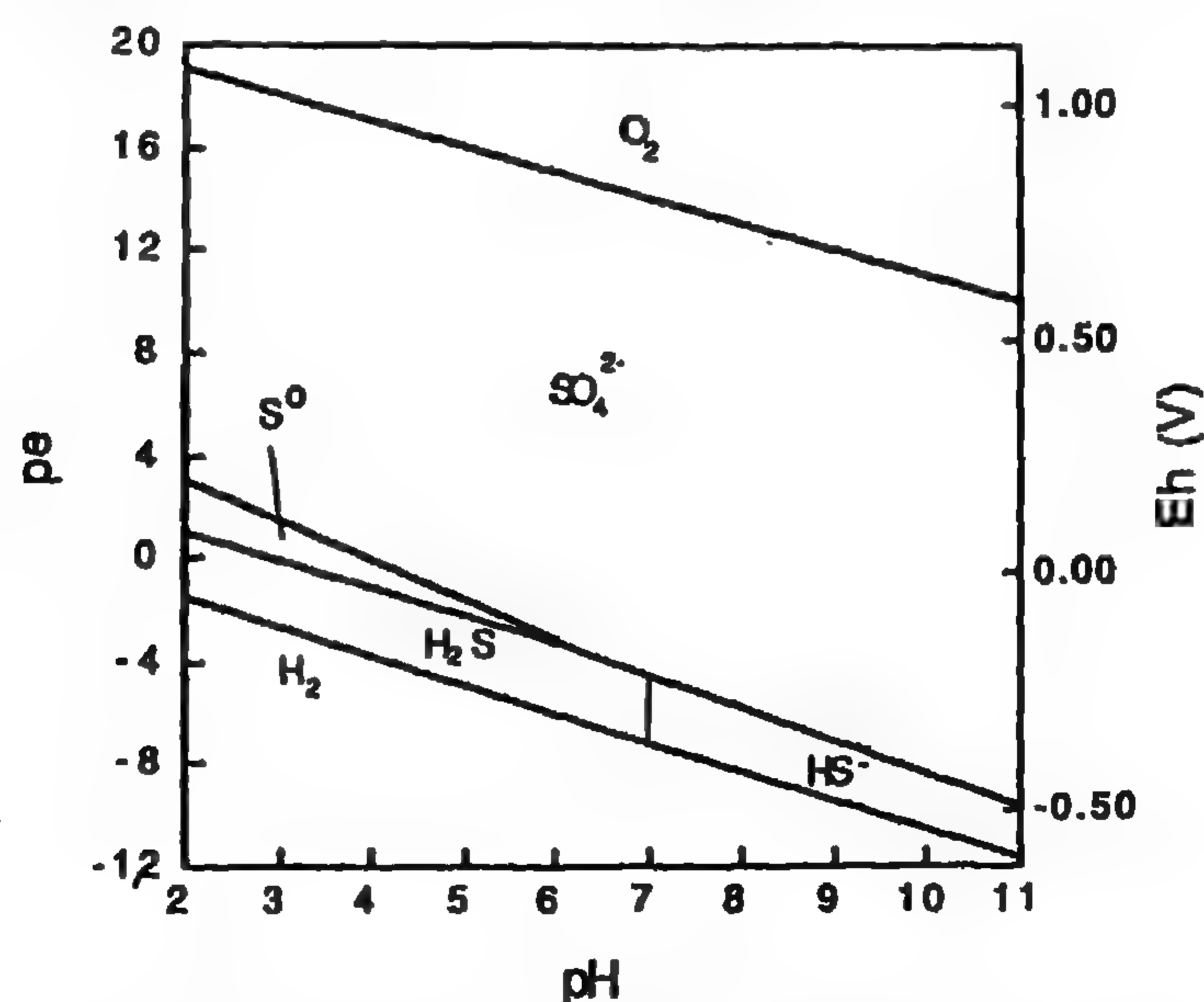


شكل ٦ - ٢ دورة الكبريت في الأراضي . وهي تصور الإضافات ، والفقد ، والتحويلات التي تحدث في الأراضي. (Brady , 1974.)

وتوجد أيضا صور غازية للكبريت في الأراضي، وتتراوح من تركيزات صغيرة جدا في الأراضي جيدة الصرف والتهوية إلى تركيزات عالية في الأراضي الغدقة رديئة التهوية، وتعد مركبات كبريت التربة أقل تطايراً من مركبات كربون ونتروجين التربة، بينما لا توجد للفوسفور صور غازية في الطبيعة. والغازات المتكونة خلال تحلل المادة العضوية التي قد تنبعث من الأراضي تشمل ثاني كبريتيد الكربون CS₂، كبريتيد الكربونيل COS، ميثيل ميركابتان CH₃SH، ثنائي ميثيل الكبريتيد (CH₃)₂S، وكبريتيد الهيدروجين H₂S؛ ولهم جميعاً روائح مميزة. ويبلغ مقدار الكبريت المنبعث من الأراضي اللاهوائية والأراضي الرطبة حوالي ٣٠ × ١٠^{١٢} جم / السنة.

ويتأكسد الكبريت المعدني والكبريتيدات إلى حمض كبرتيك عند التعرض لظروف هوائية. وتحدث أكسدة الكبريت المختزل عندما تخرج المواد الجيولوجية من تحت السطح إلى سطح الأرض خلال أنشطة التعدين (في المناجم) أو بناءً على صرف مستنقعات المد والجزر. وتحت مثل هذه الظروف قد ينخفض رقم حموضة المحلول إلى رقم ٢ أو أقل حتى يتأكسد الكبريت المختزل، أو يتعادل، أو يزال من بيئة التربة.

ويتم التحكم في نوعية الكبريت غير العضوي عن طريق العلاقة بين pe (نشاط الإلكترونات أو حالة التأكسد/الاختزال)، ورقم الحموضة (pH)، ونشاط أيونات الهيدروجين) كما هو موضح في شكل ٦ - ٣ فالكبريتات هي النوع السائد الذي يوجد عند مستويات pe مرتفعة وعند جميع مستويات رقم الحموضة pH . وعند مستويات pe منخفضة إلى متوسطة، يسود صنف الكبريتيد مع H_2S عند رقم حموضة أقل من ٧، HS^- عند رقم حموضة أكبر من ٧. ويمكن أن يوجد الكبريت المعدني أيضاً عند مستويات pe متوسطة (معتدلة)، ورقم حموضة حامضي. وبعض الأحماض الأمينية المحتوية على كبريت تُعد ثابتة عند مستويات $pe + pH$ في حدود مدى الكبريتات، ومن هذا نستنتج أن مركبات الكبريت العضوية قد تبقى وتستمر في الظروف الهوائية للتربة.



شكل ٦ - ٣ العلاقة بين أنواع الكبريت عند أرقام pe , pH مختلفة.

٦ - ٢ - ٢ الكبريت العضوى فى الأراضى :

الكبريت العضوى هو الصورة السائدة للكبريت فى معظم بيئات التربة والبيئات المائية، وتوزيع الكبريت فى أنواع عديدة من الأراضى مدون فى جدول ٦ - ٥، وهو يبين بوضوح أن الكبريت العضوى هو الصورة السائدة للكبريت فى التربة، وتتفوق تركيزات الكبريت غير العضوى بشدة على تركيزات الكبريت العضوى، فقط فى الأراضى الجيرية المنخفضة فى المادة العضوية، وهى مثال نموذجى للمناطق الجافة ونصف الجافة، ويمكن الحصول على بيانات أكثر عن مركبات الكبريت غير العضوية والعضوية باستخدام طرق تجزئ الكبريت، والتي سيتم مناقشتها فى القسم التالى.

وتختلف بدرجة كبيرة محتوى بيئات التربة والبيئات المائية من الكبريت العضوى، ويعتمد ذلك بدرجة أولية على كمية المادة العضوية الموجودة، وفى الأراضى، تتراكم المادة العضوية عند سطح التربة حيث تتحلل المواد النباتية ؛ أما أفاق تحت السطح فيمكن أيضا أن تتجمع فيها المادة العضوية طبقا لما هو موضح فى جدول ٦ - ٦. ويلاحظ فى هذا الجدول أن الكبريت الكلى والعضوى فى أرض رقم واحد ينقص مع العمق فى حين أن الكبريت غير العضوى يظل ثابتاً نسبياً، بينما فى أرض رقم ٢ يوجد تراكم لجميع الثلاث صور الكبريت، ويحدث ذلك عند عمق ٢٠ - ٦٠ سم، وتمثل الأرض رقم ٢ نموذجاً لنوع أراضى سيود وسول (البودزول)، التى يحدث فيها تراكم للكبريت العضوى، من خلال حركة وانتقال المادة العضوية فى أفاق تحت السطح وترتبط الزيادة فى الكبريت غير العضوى مع زيادة ادمصاص الكبريتات بواسطة الأكاسيد المائية للحديد والألومنيوم التى تراكمت أيضا فى أفاق تحت السطح لأراضى البودزول.

وتنشأ مركبات الكبريت العضوية فى الأراضى والبيئات المائية من مصادر نباتية، وحيوانية، وميكروبية عديدة. والأحماض الأمينية المحتوية كبريت هى الأكثر انتشارا من بين مركبات الكبريت العضوية المعروفة ؛ وتبلغ ١٠ - ٣٠٪ من الكبريت الكلى فى أراضى عديدة. وهذه الأحماض الأمينية تتحلل بسرعة (فوراً)، وقد توجد فقط لفترات قصيرة من الزمن قبل أن تستخدم بواسطة الكائنات الدقيقة. وبالإضافة إلى ذلك، فالأحماض الأمينية المحتوية على كبريت ترتبط غالبا بالمادة المعدنية والمادة

جدول ٦ - ٥ توزيع الكبريت غير العضوى والعضوى فى الاراضى المختلفة.

نوع الأرض أو استخدامها	الموقع	S الكلى (مجم/كجم)	S غير العضوى (%)	S العضوى (%)
المدى (فى قطاع أرضى واحد)				
زراعية	أيووا	٤٥٢ - ٧٨	٢ - ١	٩٧ - ٩٩
	البرازيل	٢٩٨ - ٤٣	٢٣ - ٥	٧٧ - ٩٥
	كندا	٧٠٠ - ٨٠	١٥ - ٨	٨٥ - ٩٢
	كوين لاند*	٧٢٥ - ١١	١٨ - ٢	٨٢ - ٩٨
	جنوب ويلز*	٥٤٥ - ٣٨	١٣ - ٤	٨٧ - ٩٦
	نيوزيلاند	١٣٦٠ - ٢٤٠	٩ - ٢	٩١ - ٩٨
غابات	نيوها مبشير	١٥٦٣ - ٤٥٢	٨ - ١	٩٢ - ٩٩
	نيويورك	٢٠٠٣ - ٦٨	١٨ - ١	٨٢ - ٩٩
	كندا	١٥٩٣ - ٣٦٤	١٠ - ٢	٩٠ - ٩٨
	إلينويس	٥٥٥ - ١١٢	١٠ - ٢	٩٠ - ٩٨
	ألمانيا	٣٢٨ - ٧٤	٢٨ - ٧	٧٢ - ٩٣
	أيووا	٦١٨ - ٥٥	٥ - ١	٩٥ - ٩٩
	انجلترا	٧٤٠٥	٥	٩٥
	سكوتلاند	٨٠٠ - ٣٠٠	١٠ - ٢	٩٠ - ٩٨
	سكوتلاند	١٧٩٠ - ٦٤٠	٨٩ - ٢١	١١ - ٧٩
	هاواى	٢٢٠٠ - ١٨٠	٥٠ - ٦	٥٠ - ٩٤

(Freney, 1986 and Mitchell et al., 1992.)

(*) استراليا.

جدول ٦ - ٦ علاقة الكبريت الكلى ، وغير العضوى ، والعضوى بالعمق فى
قطاعين من الأراضى ، مجم S / كجم أرض.

العمق (سم)	S الكلى		S غير العضوى		S العضوى	
	تربة (١)	تربة (٢)	تربة (١)	تربة (٢)	تربة (١)	تربة (٢)
١٠ - ٠	٤٣٦	٢٠٥	٧	٨	٤٢٩	١٩٧
٢٠ - ١٠	٣٨٩	٩٣	٦	٥	٣٨٣	٨٨
٣٠ - ٢٠	٣٤٢	١١٨	٦	٧	٣٣٦	١١١
٤٥ - ٣٠	٢٦٦	١٣٤	٦	١٨	٢٦٠	١١٦
٦٠ - ٤٥	٢٣٠	١٣٤	٨	٢٩	٢٢٢	١٠٥
٧٥ - ٦٠	١٨٨	١١٥	٧	٢٢	١٨١	٩٣
٩٠ - ٧٥	١٥٢	٩٩	٥	١٠	١٤٧	٨٩

(Williams , 1974.)

العضوية، وهذا يجعل استخلاصها من الأراضى صعبا. أما البوليسكريدات والليبيدات المحتوية كبريت فتوجد أيضا فى الأراضى، وقد تبلغ حوالى ٥٪ من الكبريت الكلى فى بعض الأراضى.

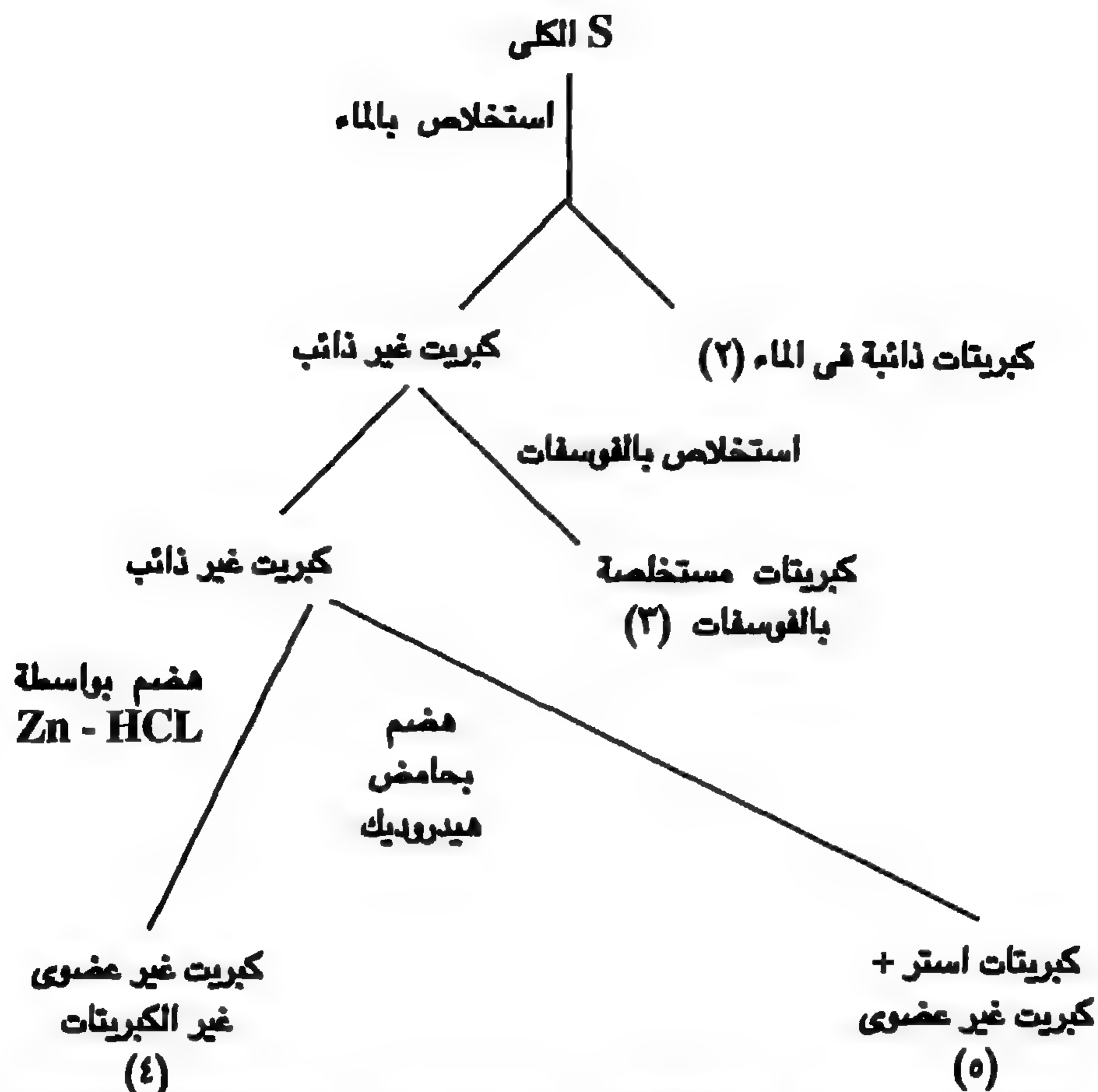
وتحتوى حمأة المجارى والأسمدة الحيوانية صورا عديدة من الكبريت العضوى. وبالرغم أن هذه المواد مفهوم أنها نواتج مخلفات تحتاج إلى التخلص منها، إلا أن فوائد متعددة يمكن تحقيقها عند استخدام الحمأة والأسمدة الحيوانية فى برنامج إضافتها للأراضى. وبالإضافة إلى المادة العضوية، والنتروجين، والفوسفور الموجود فى الحمأة والأسمدة الحيوانية، تُعتبر كلٌّ من صورتى الكبريت غير العضوى والعضوى جزءاً من هذه المواد. وعلى سبيل المثال، وجد أن بعض حمأة المجارى تحتوى على

كبريت معدنى، وكبريتيدات ، وكبريت عضوى مثل الأحماض الأمينية المحتوية كبريت، وألكيل بنزين سلفونات، والسكريات العديدة الحامضية المحتوية كبريت، وكبريتات الإستر (جزء كبير منها يدخل فى المنظفات).

٦ - ٢ - ٣ مخطط تجزئ الكبريت :

تقدر عادة مركبات الكبريت العضوية فى التربة والبيئة المائية باستخدام طرق التجزئ بسبب الطبيعة غير المتجانسة للمادة العضوية (انظر الفصل الثانى)، وإن مكونات الكبريت التى تم التعرف عليها فى طريقة تجزئ الكبريت موضحة فى شكل ٦ - ٤، وهى توضح أن الكبريت يمكن أن يفصل فى خمسة أجزاء أساسية بالإضافة إلى الفوسفور الكلى. وكل من الكبريت غير العضوى (الكبريتات، والكبريت غير الكبريتات، أساسا الكبريتيدات) والكبريت العضوى (المرتبط بالكربون وكبريتات الإستر) التى ذكرت فى الأقسام السابقة يمكن تقديرها بهذه الطريقة. وتوجد أمثلة من تركيزات ونسبة أجزاء الكبريت فى حمأة المجارى، والأراضى، ورواسب ومياه بحيرة مدونة فى جدول ٦ - ٧. ويمكن أن تستخدم أيضاً طريقة تجزئ الكبريت فى تقويم ديناميكية الكبريت فى التربة، والمياه، والهواء الجوى بما فى ذلك التحولات ومعدلات الانطلاق.

إن طبيعة ونسبة الكبريت فى التربة متغيرة إلى حد بعيد. وباستخدام طريقة تجزئ الكبريت، يتم تقدير أو حساب الكبريت الكلى فى عينة ثانية من التربة. ويقدر أيضاً الكبريت الذائب فى الماء والمستخلص فى الفوسفات فى عينات أخرى، والفرق بين الاثنين يعبر بصفة خاصة عن الكبريتات المدمصة (سوف تناقش الكبريتات المدمصة فى الجزء القادم). ويتم تقدير الكبريت غير الكبريتات غير العضوى مباشرة عن طريق الهضم بواسطة محلول $Zn - HCl$. ويشمل الكبريت العضوى صور كل من كبريتات الاستر ($C - O - S$) والكبريت المرتبط بالكربون ($- C - S -$) والذى تم تقدير الجزء الأول منه جنباً إلى جنب مع الكبريت غير العضوى أثناء الهضم بحمض الهيدروأىوديك (HI). ويمكن الحصول على الكبريت المرتبط بالكربون عن طريق الفرق بين (الكبريت الكلى مطروحاً منه HI)، حيث لا توجد طريقة ميسرة تستطيع أن تحسب بالضبط جميع الكبريت المرتبط بالكربون فى العينة.



الجزء :	مكونات الكبريت :
١	كبريت كلى.
٢	كبريتات ذائبة في الماء.
٢ - ٣	الكبريتات المدمجة بالتحديد.
٤	كبريت غير عضوي غير الكبريتات.
(٢ + ٤) - ٥	كبريتات الإستر.
٥ - ١	كبريت مرتبط بالكربون.

شكل ٦ - ٤ رسم تخطيطي يوضح الأساليب المستخدمة في طريقة تجزئة الكبريت.

ويوضح جدول ٦ - ٥ توزيع الكبريت غير العضوى والعضوى فى أراضي مختلفة. ويمثل الكبريت العضوى، الذى يتكون من كبريتات الإستر (شكل ٦ - ١٥)، والكبريت المرتبط بالكربون (شكل ٦ - ٥ ب) صورة الكبريت السائدة الموجودة فى معظم الأراضي. ويبدو أن هناك فرقاً فى نسبة صور الكبريت العضوى فى الأراضي الزراعية مقابل أراضي الغابات. فتتراوح نسبة الكبريت الكلى فى الأراضي الزراعية الذى يتألف من كبريتات الإستر من ٣٥ - ٦٠٪، بينما فى أراضي الغابات يكون المدى أقل ويتراوح من ٢٠ - ٣٠٪. وتتراوح كمية الكبريت المرتبط بالكربون فى أراضي الغابات من ٥٠ - ٨٠٪ من الكبريت الكلى. وفى الأراضي الزراعية، وجدت نسبة أقل لكبريتات الإستر؛ وتعزى إلى إزالة الكبريت المرتبط بالكربون مع المحصول.

جدول ٦ - ٧ متوسط مكونات الكبريت فى عينات صلبة وعينات مائية من نظم

بيئية مختلفة.

العينة	S الكلى	SO ₄ المستخلصة	S غير عضوى غير الكبريتات	S إستر	S مرتبط بالكربون
حمأة المجارى *	٣٤٤	٣٧ (١١)	٤٦,٢ (١٣)	١٢٦ (٣٧)	١٣٤ (٣٩)
أرض (أفق Oi) *	٥٠,٠	٠,٥ (١)	٠,٦ (١)	٧,٢ (١٤)	٤١,٩ (٨٤)
تربة (أفق Bhs) *	١٦,٥	٠,٧ (٤)	٠,٧ (٤)	٣,٦ (٢٢)	١١,٥ (٧٠)
رواسب بحيرة *	٢٢٩	٣٥ (١٥)	١,٩ (١)	٤٥,٣ (٢٠)	١٤٦ (٦٤)
ماء بحيرة **	٠,٠٦	٠,٠٥ (٨٣)	٠,٠ (٠)	٠,٠١ (١١)	٠,٠٠٤ (٦)

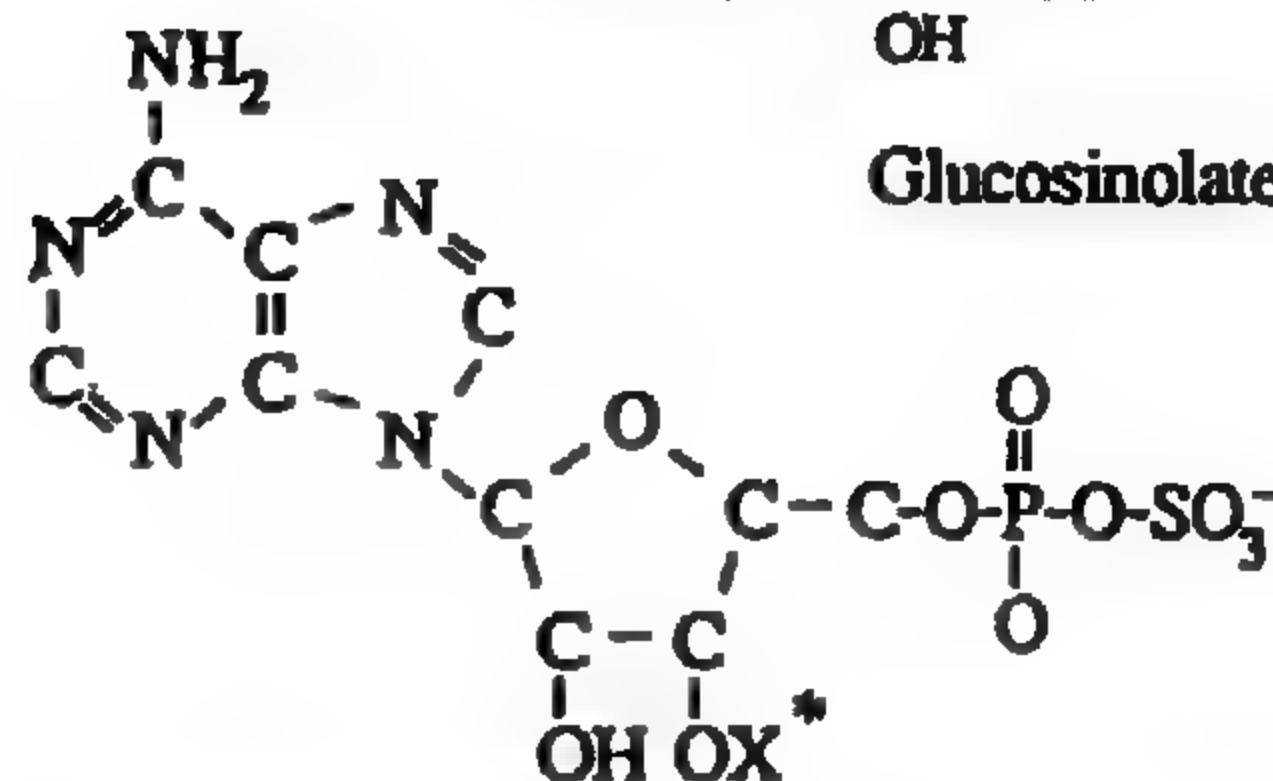
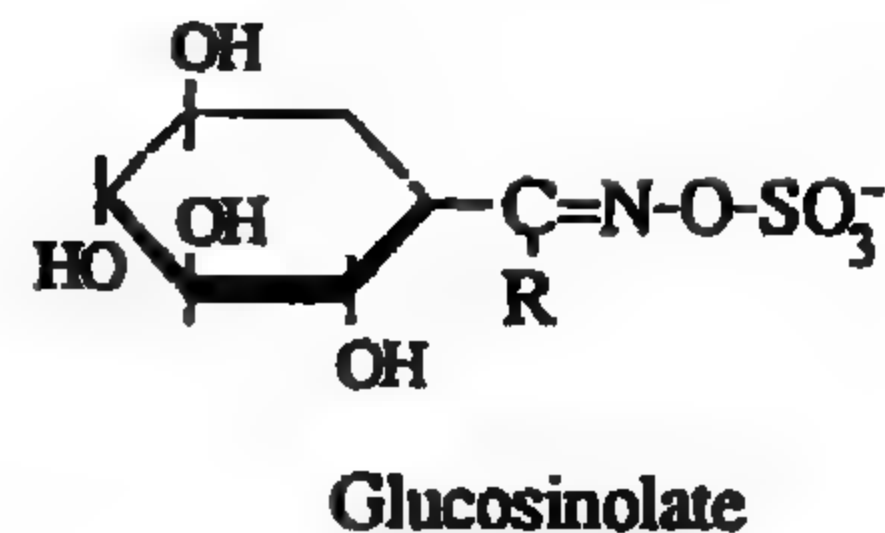
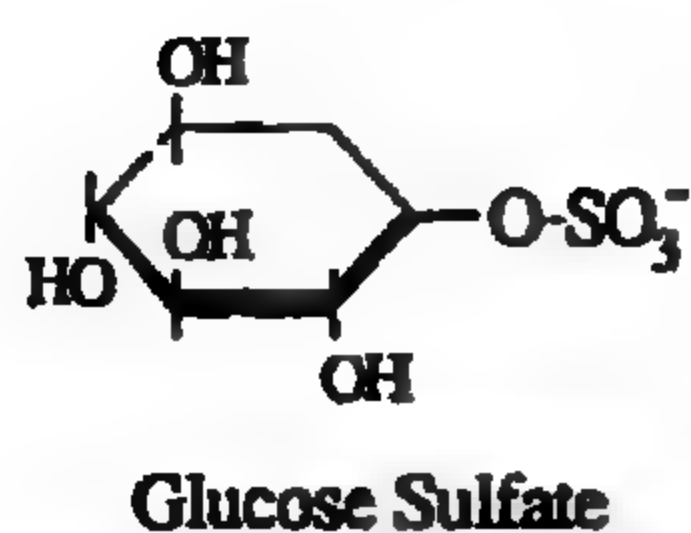
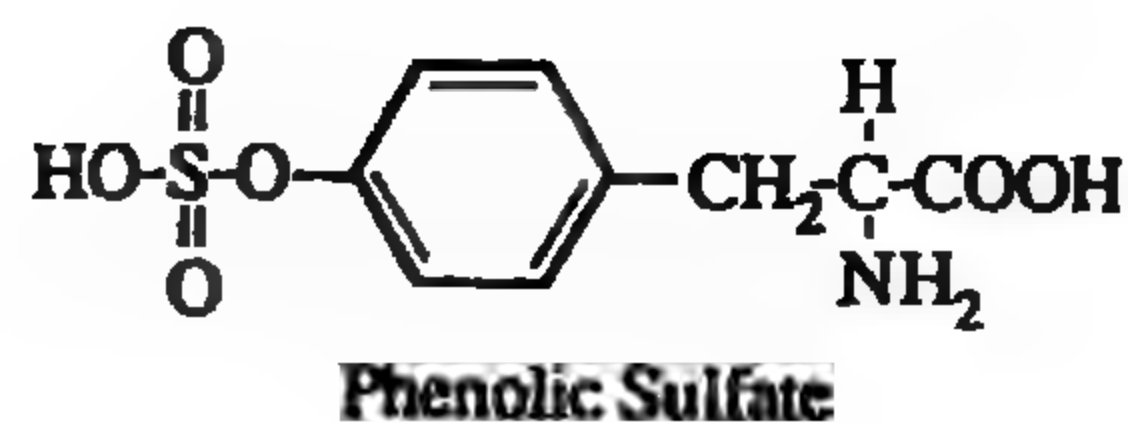
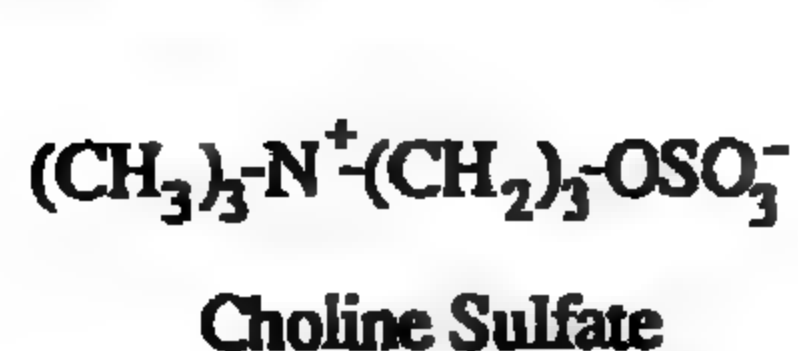
(Landers et al . 1983.)

ملحوظة : الأرقام بين الأقواس تمثل نسبة هذا الجزء من الكبريت الكلى.

(*) ميكرومول / جم.

(**) ميكرومول / لتر.

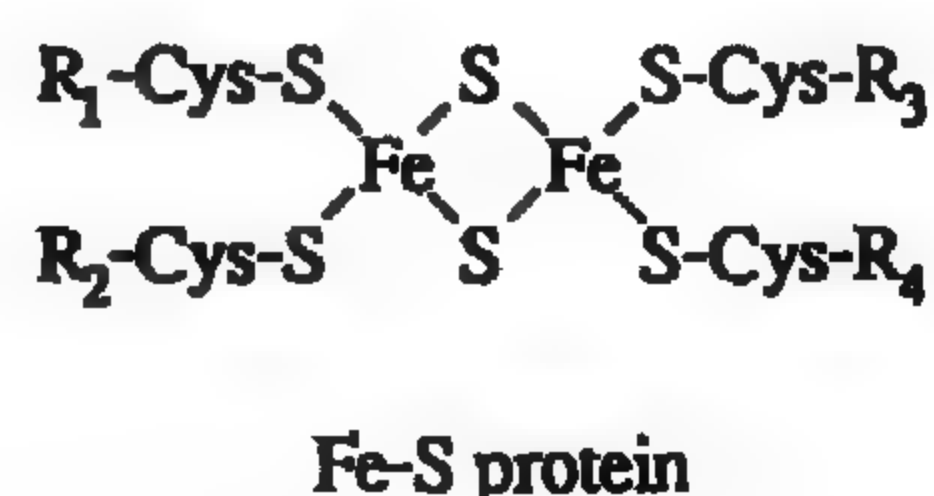
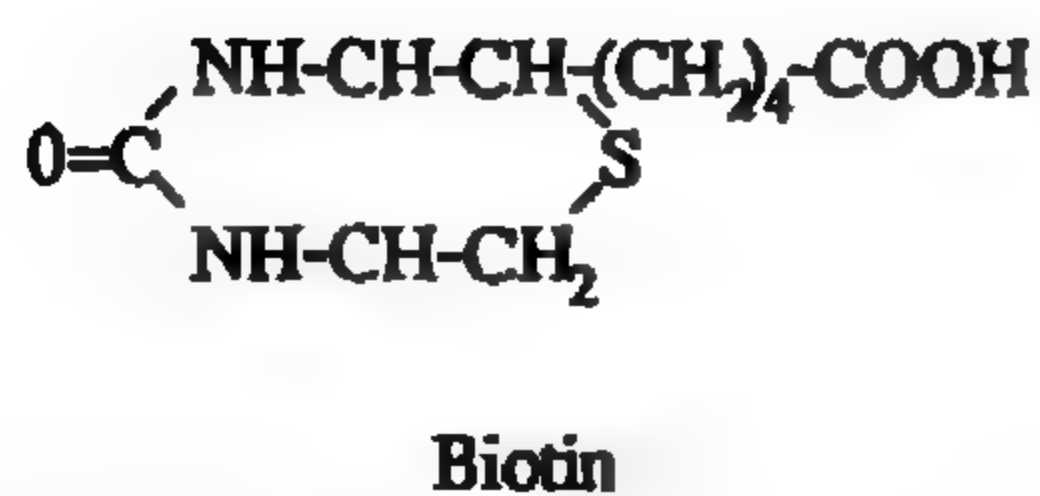
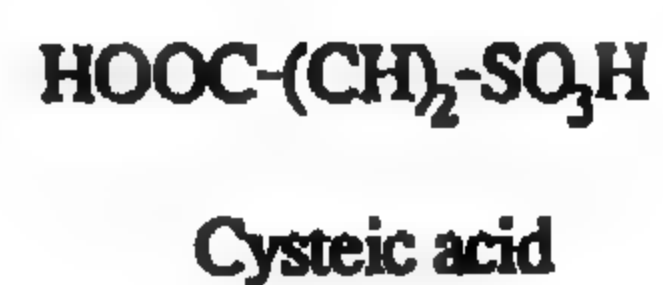
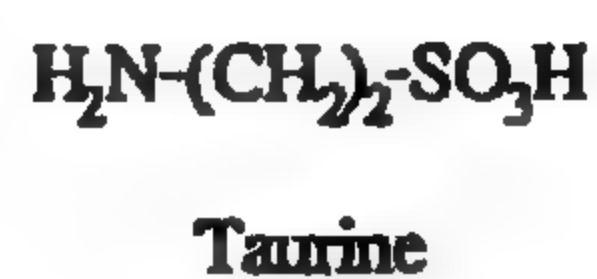
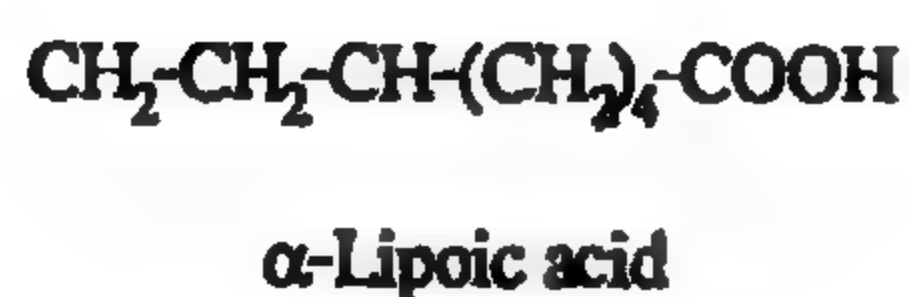
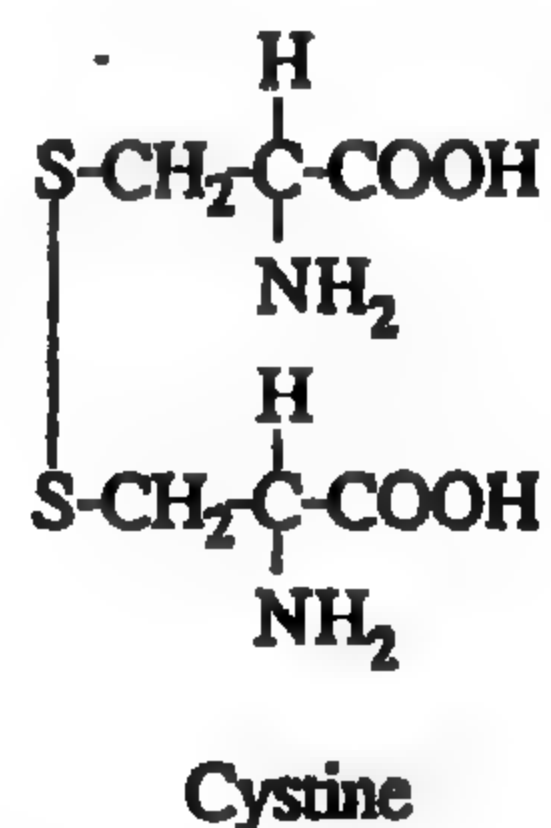
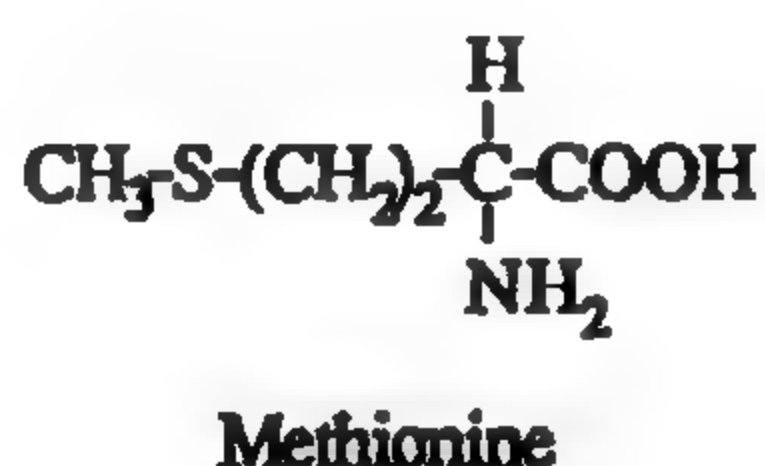
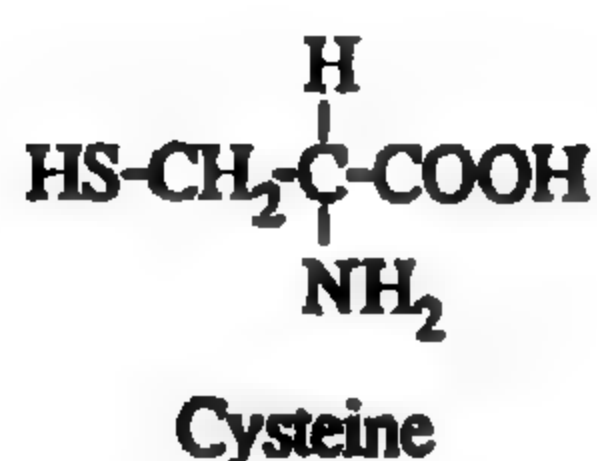
(a) Ester Sulfates



*Adenosine-5'-phosphosulfate (APS), if X = H

3'-Phosphoadenosine-5'-phosphosulfate (PAPS), if X = PO_3^{2-}

(b) Carbon-bonded Sulfur



شكل ٦ - ٥ مركبات الكبريت العضوية المختلفة الموجودة في الأراضى (a) كبريتات الإستر.

(b) مركبات الكبريت المرتبطة بالكربون.

٦ - ٣ احتجاز الكبريت وتحولاته فى الأراضى :

هناك عمليات كثيرة تحدث فى بيئات الأراضى وبيئات المياه وتؤثر فى حركة الكبريت وتحولاته، ولكن أهم هذه العمليات هو ادمصاص - انطلاق الكبريتات، والتأكسد - الاختزال للكبريت غير العضوى، وتحولات الكبريت العضوى. ولقد أُشير فى أقسام سابقة أن الكبريت العضوى يتضمن أكبر نسبة من الكبريت فى معظم الأراضى. وبناءً على ذلك، فإن تحولات الكبريت العضوى مهمة جداً خاصة عند الأخذ فى الاعتبار تدوير كبريت التربة وتفاعلاته.

٦ - ٣ - ١ ادمصاص وانطلاق كبريتات التربة :

يؤدى ادمصاص الكبريتات بواسطة الأراضى إلى الاحتفاظ بالكبريت الذى كان يمكن أن يغسل من قطاع التربة. وحيث أن الكبريتات هى الصورة الرئيسية للكبريت التى تمتص بواسطة النباتات، فإن احتجاز (مسك) الكبريتات قد يشجع قدرة الأراضى على توفير الكبريت للنباتات فى المستقبل. ويمكن أن تكون كمية الكبريتات الذائبة فى الماء والقابلة للتبادل منخفضة فى بعض الأراضى، وهذا يعتمد على عوامل مثل نوع الأرض، والمناخ، وممارسات الإدارة. كما يمكن أن يكون التركيب المنرالوجى للتربة تأثير معنوى على قدرتها على الاحتفاظ بالكبريتات المدمصة. فعلى سبيل المثال، كمية الكبريتات المدمصة فى تربة غابة تنيسى أكبر بمقدار ١٥ مرة عن الكبريت الكلى المخزن فى الكتلة الحيوية فوق سطح الأرض.

وتشمل مواقع ادمصاص الكبريتات الأكاسيد المائية للحديد والألومنيوم، وحواف معادن الطين الألومينو - سليكاتية، ومعقدات المادة العضوية - المعدن. وفى بعض الأراضى، فإن الأكاسيد المائية للحديد والألومنيوم المغلفة لحبيبات التربة (مثل الأفق B سبوديك) تسهم فى الغالبية العظمى لمواقع ادمصاص الكبريتات، ويتوقع أن يكون ادمصاص الكبريتات أكبر على الأكاسيد المائية للحديد والألومنيوم عديمة أو قليلة التبلور؛ وذلك لأن لها مساحة سطح أكبر من الصور المتبلورة. ويتوقف أيضاً كمية

الكبريتات المدمصة على عدد المواقع الموجودة على حواف معادن الطين الألومينو سليكاتية. ولقد أوضحت بعض الدراسات أن معادن الطين من النوع ١ : ١ تدمص كميات أكبر من الكبريتات عما تفعله معادن الطين من النوع ٢ : ١. وادمصاص الكبريتات بواسطة معقدات «عضوية - معدن» يُفترض أن تحدث عن طريق تكوين معقدات من «عضوية - معدن - كبريتات».

ويتأثر ادمصاص الكبريتات بعوامل مثل رقم الحموضة، وكمية ودرجة تبلور الأكاسيد المائية للحديد والألومنيوم، ووجود مادة عضوية. ويحدث أعظم ادمصاص للكبريتات عند رقم حموضة منخفض، نموذجياً من ٣ - ٥ ر؛ ويعزى إلى محصلة شحنة السطح الموجبة التي تتكون على الأكاسيد المائية للحديد والألومنيوم. وإن زيادة عدد مواقع الشحنات الموجبة مع نقص رقم الحموضة يشجع ادمصاص الكبريتات، وبالرغم من ذلك، فالأكاسيد المائية للحديد والألومنيوم ليست ثابتة عند أرقام الحموضة المنخفضة جداً، ويؤدي نوبانها إلى انخفاض عدد مواقع ادمصاص الميسرة، ويمكن للمادة العضوية أن تعوق أو تمنع ادمصاص الكبريتات عن طريق تغليف أسطح المعادن والأكاسد المائية أو تتنافس مع الكبريتات على مواقع ادمصاص.

وقد يحدث انطلاق الكبريتات في الأراضي إذا استقبلت الأراضي مدخلات عالية من الكبريت وإذا كان سعة ادمصاصها للكبريتات منخفضة نسبياً، و/أو إذا حدث إحلال الكبريتات بأيونات منافسة. وتنقص مع الزمن كمية الكبريتات القابلة للانطلاق بسهولة، والتي تعزى إلى تكوين كبريتات مرتبطة بقوة أكبر (وبالذات مدمصة) أو إلى تحويل الكبريتات إلى صور عضوية. ويتم تشجيع انطلاق الكبريتات باستخدام محلول استخلاص فوسفاتي، والذي يحل بسهولة محل الكبريتات الموجودة بالتحديد في صور مرتبطة.

ويمكن تحليل ادمصاص الكبريتات باستخدام نماذج رياضية؛ معادلة لا نجمير ومعادلة فرنديتش، (انظر الفصل الخامس لمناقشة هذه النماذج في دراسات ادمصاص الفوسفور)، وحديثاً اقترح نموذج يسمى معادلة الكتلة الأولية (IM). ولقد وجد أن معادلة الكتلة الأولية تناسب بيانات ادمصاص الكبريتات في أراضي الغابات أفضل

من معادلتى لانجمير وفرندلتش اللتين كانتا غير قادرتين على (١) إعطاء علاقة خطية أو (2) التحول للاستخدام فى النواحي التطبيقية، وتكتب معادلة الكتلة الأولية كما يلي:

$$SO_4 \text{ (adsorbed or released)} = mX_i - b \dots\dots (6 - 2)$$

حيث:

m = الميل.

X_i = الكمية الأولية للكبريتات فى المحلول بالنسبة لكتلة الأرض.

b = القاطع.

وحيث إن مستويات الكبريتات الأصلية عالية فى بعض الأراضى، فهناك حالات يحدث فيها انطلاق الكبريتات ، ويمكن حساب احتياطى مستودع التربة من الكبريتات (RSP) من معادلة الكتلة الأولية كمايلي:

$$RSP = \frac{b}{1 - m} \quad 6 - 3$$

حيث:

RSP = مقياس لمستودع الكبريتات الاحتياطى الميسر (اللابايل) وهو القابل للإحلال أو التغير فى التربة، وهو تقدير للكبريتات النشطة بيولوجيا فى الأراضى.

٦ - ٣ - ٢ تفاعلات التأكسد - الاختزال للكبريت غير العضوى :

تفاعلات التأكسد والاختزال التى تشتمل على الكبريت غير العضوى تتوسطها عمليات ميكروبية. ويوضح شكل ٦ - ٢ دور تفاعلات التأكسد والاختزال للكبريت فى الأراضى، وهو عبارة عن رسم تخطيطى للمسارات المختلفة الميسرة لتأكسد أو اختزال الكبريت. وكما ذكر سابقا، فالكبريتات هى الصورة غير العضوية السائدة للكبريت فى الأراضى الهوائية. والكبريتيدات أكثر أهمية فى الأراضى اللاهوائية مثلما وجد فى

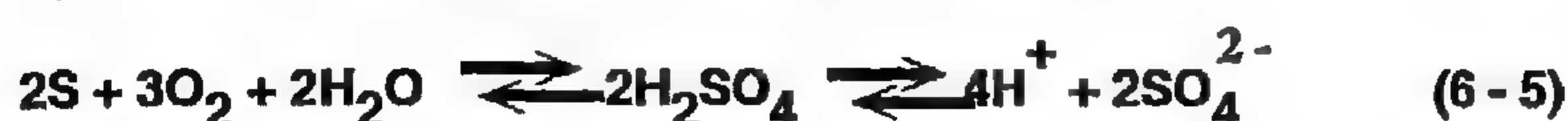
الأراضي الرطبة، والمستنقعات، ومستنقعات المد والجزر. ولذلك، فتفاعلات الاختزال المتضمنة كبريتات، وتفاعلات الأكسدة المتضمنة كبريتيد S^{2-} نوقشت هنا بعين الاعتبار. ويحدث اختزال الكبريتات عن طريق الاختزال التمثيلي أو غير التمثيلي، وتحدث عملية الاختزال الأولى (التمثيلي) عندما تستخدم الكائنات الدقيقة الكبريتات في تمثيل (بناء) مكونات الخلية. وفي تحويل الكبريت غير العضوي إلى كبريت عضوي، يقال إن الكبريت حدث له تثبيت في صورة عضوية. أما عملية الاختزال غير البنائي وهي فريدة أي مختصة بأجناس معينة من البكتريا - من بينها *Desulfovibrio* وهي أكثرها شهرة - التي تختزل الكبريتات إلى كبريتيدات، ويحدث اختزال الكبريتات غير البنائي في الظروف اللاهوائية مثل الأراضي الغدقة، والمستنقعات، والمياه الراكدة، ومستنقعات المد والجزر.

إن الظروف التي تصبح فيها الكائنات الدقيقة المختزلة للكبريت اختزالاً غير تمثيلي قادرة على البقاء على قيد الحياة مختلفة تماماً؛ فيمكنها أن تعيش في أراضي لها مدى واسع من pH ونسبة أملاح عالية مثل البحيرات المالحة، وقاع مناطق التبخير (الملاحات)، ورواسب البحار العميقة، وأبار البترول. وإن جهد تأكسد واختزال (E_H) أقل من ١٠٠ mV ($pe = ١٦٩$) مطلوب لنمو هذه الكائنات الدقيقة، وتحت جهود تأكسد - اختزال أعلى يمكنها أن تبقى في حالة سكون.

وتختلف المشاكل البيئية المرتبطة باختزال الكبريتات؛ ففي نظم الصرف الصحي، يؤدي إنتاج كبريتيد الهيدروجين إلى تآكل (أكسدة) الحجارة، والخرسانة، والأنابيب والمكونات الأخرى لنظام توزيع الصرف الصحي. وكبريتيد الأيدروجين رائحة تشبه رائحة البيض الفاسد. ويسبب وجود صور مختزلة للكبريت في وقود الفحم الحجري، والرواسب، والأراضي اللاهوائية عدداً من المشاكل؛ حيث إن الكبريت يتأكسد مرة أخرى إلى كبريتات، وهو ماسوف يناقش فيما بعد.

وتحدث أكسدة مركبات الكبريت غير العضوي المختزلة تحت الظروف الهوائية وتتبع مسارات عديدة. وبالرغم من أن أكسدة الكبريت تعتبر بصفة أساسية نتيجة عمليات بيوكيميائية، فإن الأكسدة الكيميائية للكبريتيدات (S^{2-})، والكبريتات (S_3^{2-})،

والثيوكبريتات تحدث فوراً في الطبيعة، وبالرغم من ذلك، فإن معدل الأكسدة الكيميائية أبطأ من عمليات الأكسدة البيوكيميائية. وأكسدة الكبريت المختزل عملية ذات تأثير حامضى، ويعتبر هذا سبباً للقلق في حالات معينة. وفيما يلي أمثلة من أكسدة الكبريت التى تؤدى إلى تكوين حموضة:



توجد أنواع عديدة من الكائنات الدقيقة، ذاتية التغذية وعضوية التغذية، قادرة على أكسدة الكبريت. بكتريا جنس *Thiobacillus* قادرة على المعيشة والبقاء حية فى مدى واسع من ظروف التربة والظروف البيئية؛ وبعض أنواع *Thiobacillus* قادرة على المعيشة فى التربة فى pH يتراوح من ٥ إلى ٩. وبكتريا *Sulfolobus* وهى مجموعة أخرى من الكائنات المؤكسدة للكبريت التى تعيش فى مياه الينابيع الساخنة الغنية بالكبريت. وهى تعيش فى مياه يتراوح pH لها من ٢ إلى ٥، ودرجة حرارة من ٦٠ - ٨٠ ° مئوية. وصنف آخر من الكائنات الدقيقة المؤكسدة للكبريت التى تعيش فى ينابيع ساخنة هى بكتريا *Thermothrix*؛ وهى تختلف عن بكتريا *Sulfolobus* فى أنها تنمو فى المياه التى لها pH قريب من التعادل.

وفى الأراضى المتعادلة والقاعدية، فإن مؤكسدات الكبريت الأساسية قد تكون مجموعة من الكائنات الدقيقة عضوية التغذية. وتشمل هذه أجناس عديدة من البكتريا (أرثوباكتر، باسيلس، ميكروكوكس، الميكروباكتريوم، سيدوموناس)، بالإضافة إلى بعض الأكتينومييسيتات والفطر القادرة على أكسدة مركبات الكبريت غير العضوية. ويعتقد أن هذه الكائنات الدقيقة تؤكسد الكبريت غير العضوى فقط كنتيجة لعمليات أخرى بنائية.

والعوامل التى تؤثر فى أكسدة الكبريت فى الأراضى تشمل: نوع التربة، pH، ودرجة الحرارة، والرطوبة، والمادة العضوية. وتعتبر أكسدة الصور غير العضوية المختزلة للكبريت عملية تحمىض يمكن أن ينشأ عنها أراضٍ حامضية، والتى تعتبر سامة للنباتات، والحيوانات، والكائنات الدقيقة. ويحدث الصرف الحامضى للمناجم

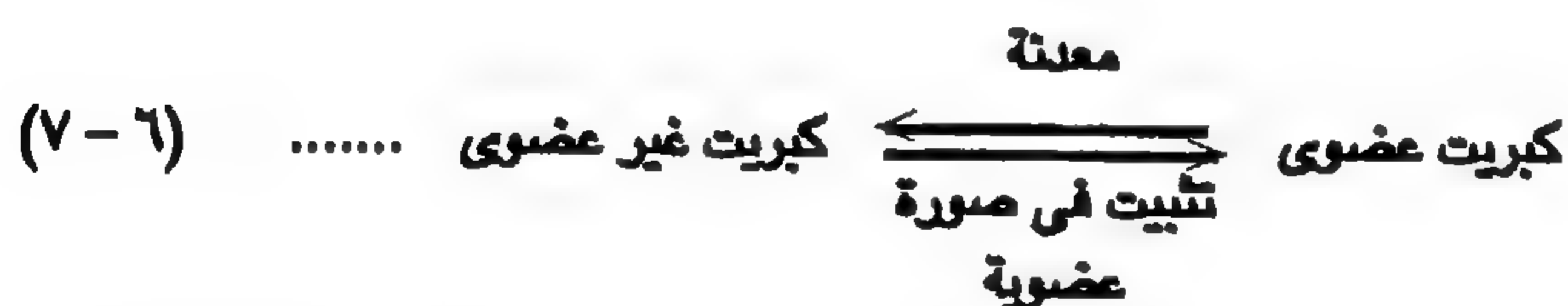
عندما تتأكسد الصور المختزلة للكبريت خلال عملية التعدين. وتحدث أكسدة البيريت - معدن شائع يحتوى كبريت - الموجود فى بيئات تحت السطح المختزلة، كالتالى:



٦ - ٣ - ٣ تحولات الكبريت العضوي :

تعتبر تحولات الكبريت العضوي إلى كبريت غير عضوي وغازات متطايرة عمليات يتوسطها نشاط الكائنات الدقيقة فى التربة. وإن انطلاق الكبريت غير العضوي خلال عملية تحلل المادة العضوية مهم من أجل توفير كبريت كاف لنمو النبات. وإن عوامل التربة التى تؤثر فى نمو ونشاط الكائنات الدقيقة (وهى: pH، الحرارة، رطوبة التربة، المادة العضوية) سوف تؤثر أيضا فى معدل تحولات الكبريت العضوي.

وتحول الكبريت العضوي إلى كبريت غير عضوي، وتحول الكبريت غير العضوي إلى كبريت عضوي عبارة عن عمليتين تصفان معدنة الكبريت وتثبيتته فى صورة عضوية، على التوالي، كما تبينها المعادلة التالية:

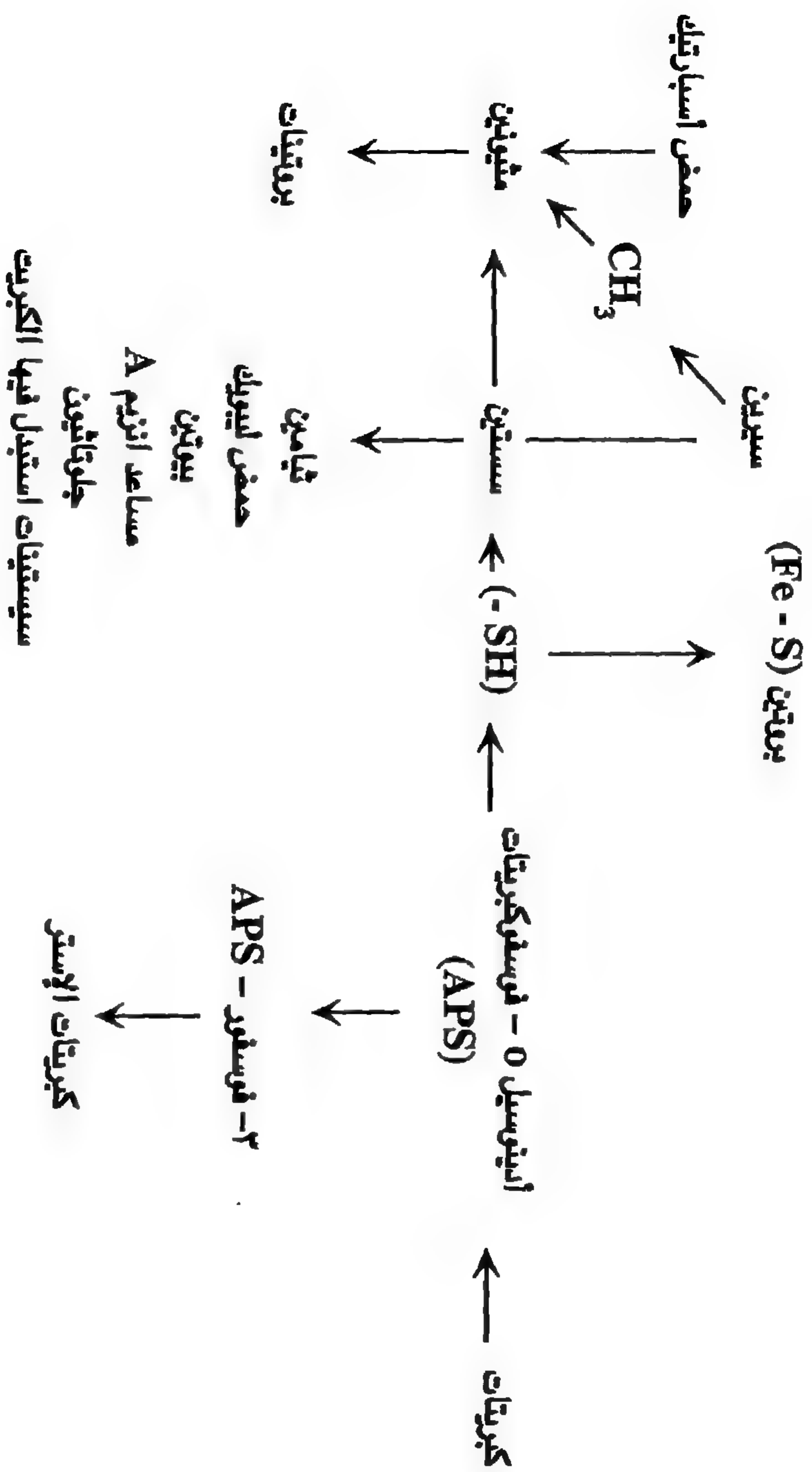


وخلال عملية معدنة الكبريت، فإن الكبريت غير العضوي - وبصفة أساسية الكبريتات - ينطلق ؛ حيث أن الكائنات الدقيقة تحلل المادة العضوية، مستخدمة بعض الكبريت لتخليق مكونات الخلية وينطلق بعض الكبريت غير العضوي إلى محلول التربة. وإن عملية تثبيت الكبريت فى صورة عضوية، من ناحية أخرى، عبارة عن عملية يتم فيها تمثيل الكبريت غير العضوي بواسطة الكائنات الدقيقة عندما تضاف مصادر طاقة عضوية منخفضة فى الكبريت (مثل المادة العضوية) إلى الأراضى، ولقد نوقشت عمليات المعدنة - التثبيت للنتروجين والفوسفور فى الفصول السابقة.

٦ - ٤ استجابة النبات للكبريت :

الكبريت أحد العناصر الغذائية الثانوية للنبات (Mg , Ca , S)، ولكن اعتبره الكثيرون أهم عنصر غذائي رابع للنبات بعد النتروجين، الفوسفور، والبوتاسيوم. ولقد أصبحت أعراض نقص الكبريت شائعة باطراد بسبب أن الأسمدة التي كانت تستخدم وتحتوى كبريت (مثل السوبر فوسفات العادى، كبريتات الأمونيوم) قد تم إحلالها بواسطة أسمدة منخفضة فى الكبريت (السوبر فوسفات الثلاثى، فوسفات ثنائى الأمونيوم)، والمبيدات المحتوية كبريت تحولت إلى مبيدات أساسها عضوى، ومدخلات الكبريت من الهواء الجوى انخفضت - وجميع هذه العوامل أدت إلى تقليل كمية الكبريت المضاف إلى الأراضى. ومنذ تصنيع أسمدة جديدة عالية الدرجة تحتوى على شوائب بسيطة من الكبريت، فإن أعراض نقص الكبريت أصبحت ظاهرة أكثر فى أجزاء كثيرة من العالم. وقد أدت الطلبات الإضافية من أجل تحقيق محصول أعلى أيضاً إلى طلب أكبر على احتياطي الكبريت فى التربة، وذلك لتوفير كميات زائدة من الكبريت الميسر للنمو المتزايد للنبات. ولقد ذكرت تقارير عن نقص الكبريت وزيادة المحصول الراجعة إلى التسميد بالكبريت فى مناطق عديدة فى كل مكان فى الولايات المتحدة وفى أماكن أخرى من العالم.

وقد يكون لمركبات الكبريت الغازية فى الغلاف الجوى تأثير ضار، أو مفيد، أو متعادل على النباتات ، فتركيزات صور الكبريت الغازية فى الجو المحيط (H_2S , SO_2) منخفضة، ويمكن أن تكون مفيدة، وبالرغم من ذلك، فإنه بالقرب من المناطق التى بها انطلاق عالى، فإن تركيزات هذه الغازات المحيطة فى الجو قد تكون ضارة للنباتات. وتمتص النباتات غاز ثنائى أكسيد الكبريت SO_2 عن طريق فتحات الثغور، وتكون قادرة على أكسدة ثنائى أكسيد الكبريت إلى كبريتات وكبريتات. ومع ذلك، فعندما تتعرض النباتات إلى مستويات من ثنائى أكسيد الكبريت تفوق قدرة النبات على أكسدة الكبريتات إلى كبريتات، فإن الكبريتات يمكن أن تتراكم فى النبات إلى مستويات سامة. وتظهر الأعراض المرئية على الأوراق المتأثرة، ويمكن أن يكون التشخيص غير صحيح بسبب أنواع أخرى من الضرر، وإن ملاحظة القرب الكبير لمصدر توليد غاز ثنائى أكسيد الكبريت سوف يساعد كثيراً فى تشخيص عما إذا كانت



شكل ٦ - ٦ المسارات التفضيعة تحول الكبريتات إلى مركبات كبريت عضوية في النباتات ويشير SH - إلى اختزال الكبريتات في APS. (Thompson et al., 1986.)

تحدث السمية بالكبريت أم بغيره. وتعرض النباتات على المدى القصير لغاز ثاني أكسيد الكبريت يسبب عامة ضرراً بسيطاً في حالة حدوثه ؛ بينما التعرض المستمر لمستويات منخفضة، مثل المواقع الجيوحرارية القريبة، قد يؤثر على النباتات فيسبب آفات الأوراق، وسقوطها، ونقص نموها.

٦ - ٤ - ١ الكبريت في تغذية النبات :

تختلف احتياجات الكبريت حسب أنواع النباتات، والأصناف، ومراحل النمو. وتوجد مركبات الكبريت العديدة في النباتات، ولكن يعتبر معظم الكبريت جزءاً من الأحماض الأمينية المحتوية كبريت مثل السستين، والسستين، والميثيونين، والتي وجدت بكثرة في البروتينات. وهناك مركبات أخرى تحتوي كبريت تشمل الفيتامينات، والبيوتين، والثيامين، B1، وبعض مساعدات الإنزيمات الأخرى، وحمض ليبويك، ومساعد الإنزيم A (CoA). وقد يؤدي نقص الكبريت ليس فقط إلى تخفيض المحصول بسبب التغذية غير الصحيحة للنبات، ولكن أيضاً قد يخفض جودة نواتج معينة للمحصول (مثل: قابلية هضم الأعلاف، وجودة خبز الدقيق).

ويوضح الشكل ٦ - ٦ مسارات الكبريت المختلفة التي تشملها عملية تخليق مركبات الكبريت العضوية، بداية بالكبريتات. فور دخول الكبريت (أساساً الكبريتات) إلى النبات، ينشط (الكبريت) خلال عملية تكوين مركب أدينوسين - ٥ - فوسفات (APS)، والأخير يعتبر بشيراً (أي مركب تمهيدى) لتكوين مركب ٣ - فوسفو أدينوسين - ٥ - فوسفات (PAPS)، والذي هو مركب وسيط في تكوين كبريتات الاستر. وتُخزَل الكبريتات المنشطة في APS، والكبريت المختزل يندمج في إما بروتينات كبريت وحديد أو السستين الذي يعمل أيضاً كبشير (أي مركب تمهيدى) لمركبات كبريت عضوية عديدة (الثيامين، حامض الليبويك، البيوتين، مرافق الإنزيم A، الجلوتاثيون، السستينات التي حدث فيها إحلال للكبريت). وتندمج نسبة كبيرة جداً من الحامضين الأمينيين المحتويين كبريت (السستين والميثيونين) في بروتينات عديدة.

يعزى عدد من وظائف النبات المهمة إلى المركبات المحتوية كبريت، وفي الواقع، يعتمد بناء (أيض) النبات وفسيولوجيا النبات على هذه المركبات. فالميثونين والسستين مركبان ضروريان لكثير من إنزيمات النبات، ويعزى تركيبهما ووظائفهما - جزئياً - إلى تفاعلات الكبريت، كما يدخل البروتين المحتوى حديد وكبريت - Ferredoxin - فى تفاعلات التأكسد - الاختزال، ويلاحظ معظمه فى صورة مركب ثابت فى عملية التمثيل الضوئى، كما أن بناء النتروجين الذى يشتمل اختزال النترات، وتثبيت النتروجين N_2 ، وتمثيل الأمونيوم، له علاقة مباشرة أو غير مباشرة بالكبريت. ونقص الكبريت يمكن أن يقلل تثبيت النتروجين التكافلى، والذى يمكن أن ينتج عنه نقص نتروجين النبات.

ويمكن التعرف على نقص النتروجين من خلال الأعراض المرئية للأوراق التى يتغير لونها من أخضر فاتح إلى أصفر، ويظهر ذلك فى البداية بطول عروق الأوراق الحديثة. والنباتات البقولية بصفة خاصة حساسة لنقص الكبريت، ويتم فى الغالب تشخيصها على أنها تعاني نقصاً فى النتروجين بسبب التشابه فى الأعراض. ويعتبر البرسيم الحجازى ونبات الكانولا - بسبب احتياجاتهما العالية للكبريت - حساسين بدرجة كبيرة لنقص الكبريت. وفى نبات الذرة، لوحظت أعراض نقص الكبريت باصفرار الأوراق الأحدث، بينما لوحظت أعراض نقص النتروجين على الأوراق الأقدم. وفى بعض الأحيان، تظهر أعراض نقص الكبريت على البادرات، ولكن هذه الأعراض تقل كلما توغلت الجذور إلى مسافات أبعد فى طبقة تحت التربة.

٦ - ٤ - ٢ دلالات تيسر الكبريت :

توجد طرق عديدة ميسرة لتقويم حالة الكبريت فى الأراضى والنباتات. ولا توجد تقنيات عالمية لتقويم تيسر الكبريت فى الأراضى، أو لتشخيص أعراض نقصه فى النباتات. ومع ذلك، فمن المعروف أن الكبريت الكلى فى الأراضى ليس اختباراً صادقاً لتيسر الكبريت ؛ حيث إن معظم الكبريت يوجد فى صور غير ميسرة للنبات. وبالنسبة للأراضى، يتم تقدير تيسر الكبريت عامة باستخلاص التربة بالماء أو بمحاليل تحتوى

على ملح، أو حامض مخفف، أو فوسفات. وبالاعتماد على طبيعة محلول الاستخلاص، يمكن الحصول على معلومات عن محتوى التربة في: (١) الكبريتات الميسرة، (٢) الكبريتات الميسرة والمدمصة، (٣) الكبريتات الميسرة والمدمصة وأجزاء من الكبريت العضوي. وبالإضافة إلى طرق الاستخلاص، تستخدم أيضاً تقنيات التحضين والتحليل الميكروبية لتقدير الكبريت الميسر للنبات.

جدول ٦ - ٨ احتياجات الكبريت الكلية في محاصيل العلف والمحاصيل الزراعية المختلفة.

المحصول	S (%)		
	مرتفع	كاف	منخفض
برسيم حجازي	< ٥٠.٠	٢٥.٠ - ٥٠.٠	> ٢٥.٠
شعير	< ٤٠.٠	١٥.٠ - ٤٠.٠	> ١٥.٠
برسيم أبيض	< ٤٠.٠	٢٥.٠ - ٥٠.٠	> ٢٥.٠
ذرة	< ٨٠.٠	٢٥.٠ - ٨٠.٠	> ٢٥.٠
قطن	< ٨٠.٠	٢٥.٠ - ٨٠.٠	> ٢٥.٠
حشائش وأعشاب	< ٣٠.٠	١٧.٠ - ٣٠.٠	> ١٧.٠
شوفان	< ٤٠.٠	١٥.٠ - ٤٠.٠	> ١٥.٠
فول سوداني	< ٣٥.٠	٢٠.٠ - ٣٥.٠	> ٢٠.٠
فول الصويا	< ٤٠.٠	٢٠.٠ - ٤٠.٠	> ٢٠.٠
قصب السكر	—	< ١٤.٠	> ١٤.٠
قمح ربيعي	< ٤٠.٠	١٥.٠ - ٤٠.٠	> ١٥.٠

(Janes et al., 1991.)

وتشمل بعض التقنيات الشائعة الاستخدام لتشخيص أعراض نقص الكبريت في النباتات: الكبريت الكلى، والكبريت في صورة كبريتات، ونسبة الكبريت في صورة كبريتات: الكبريت الكلى، ونسبة النتروجين: الكبريت، ونظام التشخيص والتوصيات المتكاملة (DRIS). وتعتبر مستويات الكبريت الكلى في النباتات، بصفة عامة، دلالة على تيسر كبريت التربة، وذلك لأن النباتات تحصل على معظم الكبريت اللازم لها في صورة كبريتات من المحلول الأرضي. وبالرغم من ذلك، فهناك عوامل عديدة يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند ترجمة نتائج الكبريت الكلى بسبب أن الكبريت الكلى يختلف مع أجزاء النبات، وعمر النبات والنسيج، وتفاعلاته مع العناصر الأخرى. ويوضح جدول ٦ - ٨ المستويات المنخفضة، والكافية، والعالية للكبريت الكلى في عدد من محاصيل الأعلاف والمحاصيل الحقلية. ويمكن أن تستخدم كمية الكبريت في صورة كبريتات في النبات لتقدير متى يعتبر الكبريت ناقصاً أو زائداً؛ فنسبة الكبريت في صورة كبريتات المنخفضة في النبات توضح أن الكبريتات قد اندمجت في مركبات كبريت عضوية، في حين أن نسبة الكبريت في صورة الكبريتات المرتفعة تقترح أن النبات يقوم بتجميع الكبريت أو أن الكبريت يتراكم داخل النبات. والنسبة بين الكبريت في صورة كبريتات: الكبريت الكلى مستقلة نسبياً عن مرحلة نمو النبات، وقد تعطى تقديراً أفضل لاحتياجات النبات للكبريت؛ والنسبة الحرجة حوالى ٠.٠٠. وتستخدم نسبة النتروجين الكلى: الكبريت الكلى أيضاً لتقدير حالة كبريت النبات، ولكن النسبة في حد ذاتها لا توضح عما إذا كان النتروجين عالياً أو منخفضاً، أو عما إذا كان الكبريت عالياً أو منخفضاً.

وفي طريقة DRIS، عملت مقارنات عديدة بين نسب العناصر مقابل القيم العادية المتفق عليها. وهناك ثلاث مزايا لاستخدام طريقة DRIS وهي: (١) التحليل مستقل عن عمر ونسيج النبات، (٢) العناصر يتم ترتيبها في نظام الأكثر تحديداً (أكثر أهمية) إلى الأقل تحديداً، (٣) اتزان العناصر مضغوط أو منكش. وتعتبر طريقة DRIS مفهوماً جيداً لتشخيص حالة النبات، والمعلومات المستقاة من هذه الطريقة يمكن أن تقوم حالة معظم العناصر الغذائية الكبرى والصغرى. ويمكن الحصول على مناقشات أوسع عن نظم DRIS فى:

Walworth and Summer (1987), Westerman (1990), and Jones et al. (1991).

وإن معدلات معدنة الكبريت ليست متناسبة مع كمية الكبريت فى المادة العضوية، وذلك بسبب تنوع المركبات العضوية المحتوية على كبريت فى الأراضى والتي يمكن أن يكون لها معدلات تحلل مختلفة، ونوع البقايا النباتية والحيوانية التى يمكن أن تؤثر فى معدلات وانطلاق عمليتى المعدنة والتثبيت فى صورة عضوية، وتكوين رواسب محتوية على كبريت (مثل كبريتات الكالسيوم، وكبريتات الألومنيوم) التى يمكن أن تؤثر فى كمية الكبريت الميسر للنبات. وإن نسبة الكربون إلى الكبريت لهذه المواد فى غاية الأهمية، فتحدث المعدنة عندما تكون نسبة الكربون: الكبريت أقل من ٢٠٠ : ١، بينما يحدث عامة التثبيت فى صورة عضوية عندما تكون النسبة أكبر من ٤٠٠ : ١، وتنتج حالة الثبات عندما تكون النسبة أكبر من ٢٠٠ وأصغر من ٤٠٠ : ١.

٦ - ٥ الإدارة البيئية للكبريت :

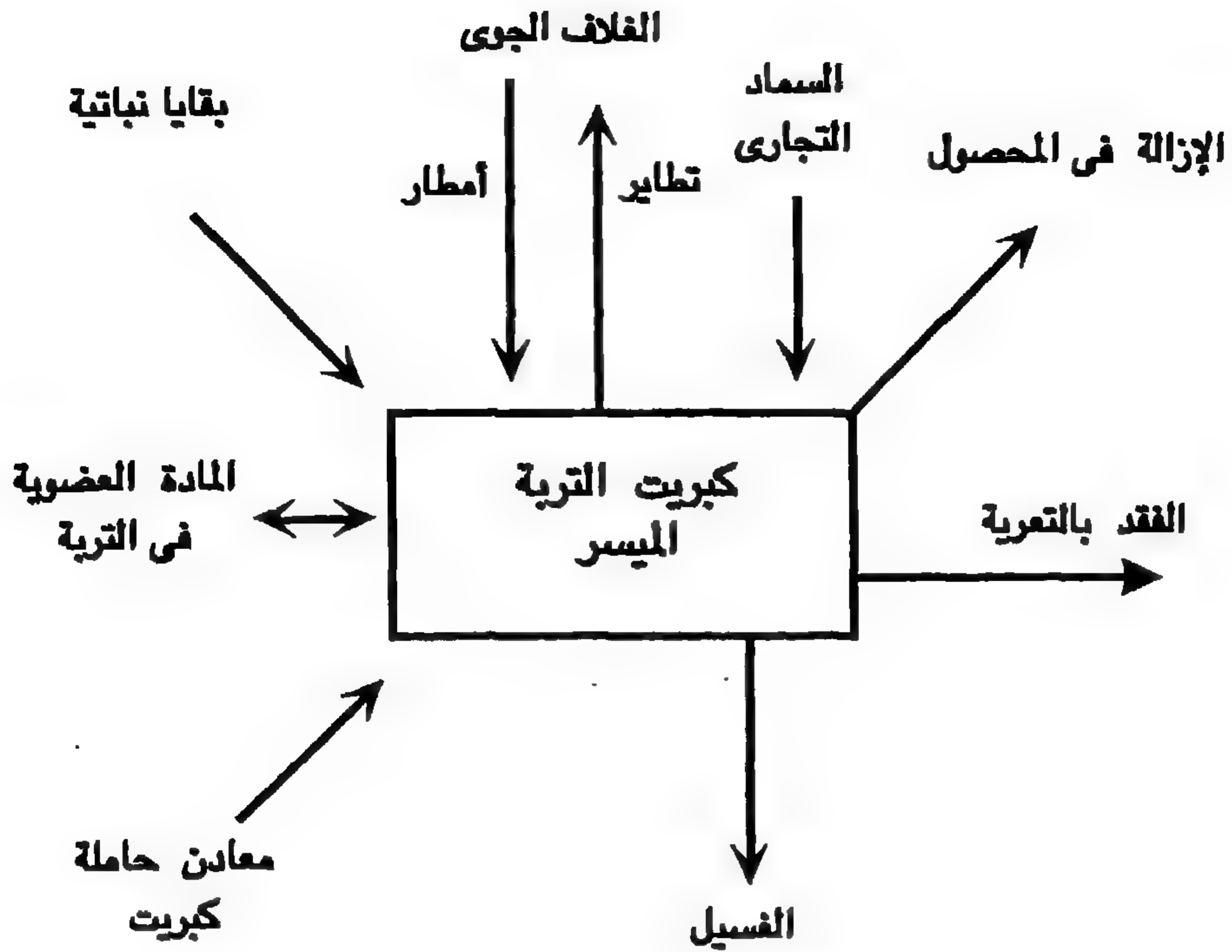
لإدارة الكبريت إدارة سليمة - يجب على المرء - أولاً - أن يفهم دوره فى البيئة ؛ فنحن نعرف - فيما يخص اهتمامنا بالكبريت فى البيئة - أن الترسيب (المطر) الحامضى، وحرف المناخ الحامضى يمثلان أكبر مشكلتين مرعبتين يجب مواجهتهما. ثانياً، الكبريت عنصر غذائى ضرورى للنبات، ويلقى اهتماماً أكبر وأكبر فيما يخص اختزال المواد المحتوية كبريت (مثل: الأسمدة المنخفضة فى الكبريت، استخدام مبيدات ليس فيها كبريت، مدخلات الكبريت المنخفضة من الهواء الجوى) التى تضاف إلى الأراضى الزراعية. ثالثاً، تعتبر بيوجيو كيمياء الكبريت جزءاً واحداً فقط من دورة البيوجيو كيمياء العمومية التى تشمل عناصر كثيرة. ولا توجد خطة إدارة شاملة (على مستوى العالم) يمكن تصميمها للكبريت ؛ لأن كل حالة تتطلب فحصاً دقيقاً عن الدور الذى يلعبه الكبريت فى المسائل الاقتصادية والبيئية. وعلى سبيل المثال، لو أخذنا فى الاعتبار حالتنا الحالية للأمور المتعلقة بالمطر الحامضى وانتشاره وشهرته الهائلة، فمن غير المدهش أن أى مشكلة ترتبط بشدة بالمطر الحامضى سوف تبرر أى فعل حكومى تجاهها. ومن هنا، فإن القوانين الحديثة مثل قانون الهواء النظيف عام ١٩٩١ أعدت

تشريعات تنادى بصفة خاصة بتخفيض كمية الكبريت التى يمكن أن تنطلق فى الهواء الجوى. وبالرغم أن المطر الحامضى ثبت أنه ضار بصفة خاصة داخل المناطق المحيطة بمصدر انبعاث الكبريت، فإن الكبريت فى الهواء الجوى الذى يوفر الكبريت للمحاصيل له فائدة واضحة.

٦ - ٥ - ١ إدارة الكبريت فى الزراعة :

يجب أن تتم إدارة الكبريت بغرض تحقيق اتزان سليم بين نقصه وزيادته، كما هو الحال مع النتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، والعناصر الغذائية الدقيقة. ويجب أن يوفر برنامج الإدارة كميات كافية من جميع العناصر الغذائية لكى يمكن الحصول على محصول اقتصادى، بينما فى الوقت نفسه يعطى الاعتبارات المستحقة للتأثيرات البيئية الخطيرة. وعلى عكس النتروجين والفوسفور، فإن دور الزراعة فى الحالات التى يتم فيها تحديد التلوث بالكبريت يكون فى الغالب فى أدنى حد. وعلى ذلك، فإن إدارة الكبريت فى الزراعة مهمة للغاية فى توفير كميات من الكبريت كافية لإنتاج المحاصيل، أكثر من تأثيرها على البيئة.

ويعتمد توفير الكبريت للأغراض الزراعية على خواص الكبريت والعوامل التى تحكم درجة تيسره. ويصف شكل ٦ - ٧ مدخلات الكبريت المختلفة ومخرجاته، وهما بصفة عامة جزء من عملية الإنتاج الزراعى. فمدخلات الكبريت - مثل بقايا المحاصيل والأسمدة الحيوانية، والكبريت فى ماء المطر الساقط، والأسمدة المعدنية، والتجوية المعدنية، ومعدنة المادة العضوية - تسهم فى تشجيع إمداد التربة بالكبريت. أما مخرجات الكبريت أو فقدته فتشمل التثبيت فى صورة عضوية، والتطاير، والإزالة مع المحصول، والغسيل، والانجراف. وإن منع الانجراف، وإعادة بقايا المحصول، وإضافة مصادر أخرى للكبريت (حمأة المجارى، الأسمدة العضوية الصناعية «الكمبوست») تزيد من كمية الكبريت فى الأراضى، بالإضافة إلى توفير عناصر غذائية أخرى ضرورية للنبات.



شكل ٦ - ٧ أمثلة لمداخلات ومخرجات الكبريت فى نظام بيئى زراعى.

وكتقدير تقريبي، حوالى ١ - ٣٪ من المادة العضوية فى التربة تتمعدن فى كل فصل نمو. وتعتمد كمية الكبريتات المنطلقة فى عمليات المعدنة على طبيعة المادة العضوية وعلى التمثيل الميكروبي. وعلى ذلك، فإن التنبؤ باحتياجات الكبريت صعب؛ طالما أن معظم الكبريت فى الأراضى يوجد فى صور عضوية والتي يجب أن تجتاز عملية المعدنة حتى يمكن للكبريت أن ينطلق. وتشمل العوامل التى تؤثر فى كمية الكبريت الميسر للنبات درجة الحرارة، ورقم الحموضة، والرطوبة، وتؤثر جميعها مباشرة فى نمو ونشاط الكائنات الدقيقة. وفى حالة استخدام المحصول كمية كبريت أقل من كمية الكبريت المتمعدنة، فإن محصلة الانطلاق السنوى للعناصر الغذائية التى تزيد عن احتياجات النبات يمكن أن تؤدي إلى فقد كبير للكبريت ونقص للكبريت الميسر

للمحاصيل فى المستقبل، وبناء على ذلك، من المهم أن تستخدم ممارسات الإدارة التى تتزن مع الاحتياجات المطلوبة من الكبريت.

وهناك أنواع كثيرة من أسمدة الكبريت، العديد منها يحتوى عناصر غذائية أخرى ضرورية للنبات. وتشمل الأمثلة الكبريت المعدنى، وكبريتات البوتاسيوم، ثيوكبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2 S_2O_3$ ، الجبس $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ، كبريتات المغنسيوم $Mg SO_4 \cdot 7 H_2O$. وينبغى أن يتم اختيار وتفضيل سماد كبريت على الآخر على أساس التكلفة عند مقارنة الأسمدة على أساس مكافئ كبريت فى صورة كبريتات، والعوامل التى تؤخذ فى الاعتبار فى برنامج إدارة الكبريت يجب أن تشمل: نوع سماد الكبريت، وتوقيت الإضافة، وطريقة الإضافة، والمكان المناسب للإضافة، وسوف تحدّد الخواص الفيزيائية والكيميائية للسماد والتربة أفضل طريقة وأنسب توقيت للإضافة. ويمكن أيضا أن تستخدم حمأة المجارى أو السماد الحيوانى كمصدر للكبريت وقد تراوحت نسبة الكبريت (على أساس الوزن الجاف) لحمأة المجارى من أكثر من ٢٠٠ بلدية فى ثمان ولايات أمريكية من منخفضة ٦.٠٪ إلى عالية ٥٠٪ بمتوسط قدره ١٠٪.

ويمكن استخدام معايير عديدة لتقدير المنافع الاقتصادية الناتجة عن استخدام السماد المحتوى كبريت. وبعض هذه المعايير يشمل: أفضل معدل اقتصادى للسماد الكبريتى، وأدنى معدل للسماد الكبريتى، ومعدل سماد الكبريت اللازم لتعظيم عائد الاستثمار، وأدنى تكلفة لكل وحدة محصول، خصم عوائد المستقبل. وتعتمد جميع هذه المعايير - ماعدا المعيار الأخير - على ظروف السنة الحالية مثل تكلفة سماد الكبريت، والمصاريف الإضافية، والمحصول المتوقع، والعائد المنتظر من الاستثمار. ويعتمد الخصم من أجل العوائد فى المستقبل على الفوائد الإضافية الراجعة إلى التأثيرات المتبقية. وهذه المتبقيات قد تشمل: الاحتفاظ بالكبريت إلى موسم آخر، أو معدنة العناصر الأخرى، أو منع نقص الكبريت فى المحاصيل المعمرة. وفى برنامج إدارة الكبريت على المدى الطويل، فإن الاستراتيجية الأخيرة قد تكون الأكثر فائدة، وبالرغم من ذلك ؛ فعلى المدى القصير، فإن المعايير الاقتصادية الأخرى قد تؤدى إلى زيادة هامش الربح.

٦ - ٥ - ٢ استصلاح الأراضي الحامضية وأراضي المناجم التالفة :

عندما تتعرض المادة المحتوية مركبات كبريت مختزلة للأوكسجين، تنتج تركيزات عالية من حامض الكبريتيك وتتكون أراضي حامضية. وفيما يلي مثالان يحدث ذلك فيهما : (١) صرف السهول الساحلية أو رواسب مستنقعات المد والجزر المحتوية بيريت، (٢) تعرض المواد المدفونة للهواء الجوي خلال أنشطة التعدين السطحي. ويتطلب استصلاح هذه المناطق معادلة كل من الحموضة النشطة والحموضة الاحتياطية التي تنتج عندما يحدث تأكسد للكبريت المختزل. وإن معادلة الحموضة الاحتياطية جزء مهم في برنامج الاستصلاح لأنه مع مرور الزمن سوف تتأكسد معادن الكبريت المختزلة وتسهم في الحموضة النشطة للتربة. وفي معظم الحالات، فإن الحموضة الاحتياطية قد تتطلب جهود استصلاح أكبر من معادلة الحموضة النشطة. والأراضي الحامضية التي تحتوي على كبريتات، يشار إليها في المعتاد علي أنها: «طين السنور» "Cat Clays"، وتنشأ في السهول الساحلية المعرضة للانغمار بمياه الفيضان ؛ حيث يتم صرف هذه المياه، وتقع بصفة رئيسية في المناطق المعتدلة والاستوائية. وبعد حدوث صرف لهذه الأراضي، تتأكسد مركبات الكبريت المختزلة لتنتج حامض كبريتيك، الذي بالتالي يذيب المادة المعدنية الموجودة فيها. وتحتوي كل من أراضي الكبريتات الحامضية ومستنقعات المناجم التالفة على كميات كبيرة من البيريت (FeS_2) الذي بتأكسده يخفض ميهتويات pH التربة إلى أقل من ٢ (انظر معادلة ٦ - ٦).

وعندما تذوب معادن السيليكات تحدث معادلة بعض الحموضة الناتجة خلال أكسدة مركبات الكبريت المختزلة. وبالرغم من ذلك، فخلال هذه العملية قد تنتج مستويات عالية لعناصر سامة خطيرة مثل Zn, Ni, Mn, Fe, Cu, Al وغيرها. وقد يحدث مع بعض الزراعات نقص للعناصر الغذائية الصغرى التي تشمل الموليبدنم والبورون بسبب انخفاض نوبان هذه العناصر في الأراضي الحامضية. ويتطلب استصلاح الأراضي الحامضية ومستنقعات أراضي المناجم التالفة إضافة مواد الجير لكي تعادل الحموضة، بالإضافة إلى الاهتمام بالمحاصيل المقاومة للحموضة. ويجب أن

تجرى اختبارات التربة كل ١ - ٢ سنة، ونوصى باستخدام مواد جير مطحونة طحناً دقيقاً لتحقيق تعادل أسرع للحموضة، ويمكن لجهود الاستصلاح أن تُحوّل الأراضي غير المنتجة إلى أراضى مفيدة صالحة لإنتاج المحاصيل أو للاستخدام كمراعى أو حدائق أو غابات، بالإضافة إلى تخفيف احتمال التلوث البيئي من هذا المصدر.

٦ - ٥ - ٣ استصلاح الأراضي الصودية :

أراضي المناطق الجافة ونصف الجافة فى العالم يمكن أن يتراكم فيها كميات كبيرة من الأملاح. ومع ذلك، ففي الأراضي الصودية نسبة صوديوم متبادل (ESP) تبلغ ١٥٪ أو أكثر وتركيزات أملاح ذائبة أقل من ٤ ملليموه /سم (ds/m)، وينتج عن ذلك تأثيرها الكبير جداً بواسطة أيونات الصوديوم. وتحت هذه الظروف، يتفارق الطين مسبباً نقصاً فى قطر مسام التربة، وتدمير البناء الأرضى، ونقص نفاذية ماء التربة. وبالإضافة إلى التأثير الرئيسى للصوديوم على خواص التربة الفيزيائية، فيمكن للصوديوم أيضاً أن يكون ساماً لنباتات معينة عندما تكون تركيزات الكاتيونات الأخرى منخفضة.

وقد يكون استصلاح الأراضي الصودية مكلفاً؛ خاصة عندما تصل الظروف إلى النقطة التى عندها تصبح رشح ونفاذية المياه بطيئة جداً. ويجب إحلال الصوديوم المتبادل بكاتيونات أخرى، ويفضل الكالسيوم، الذى هو ثنائى التكافؤ ويحل محل الصوديوم بسرعة. والجبس (CaSO_4) سريع الذوبان، وفور ذوبانه يمكنه أن يوفر الكالسيوم الضرورى اللازم لى حل محل الصوديوم. وقد يلزم إضافة عدة أطنان من الجبس للهكتار لى توفر كالسيوم كاف. وكمية الجبس اللازمة (GR) للاستصلاح يمكن حسابها تقريبا من نسبة الصوديوم المتبادل (ESP)، والسعة التبادلية الكاتيونية (CEC) للتربة الصودية. مثلاً، أرض متأثرة بالصوديوم ESP لها ٢٥٪، CEC لها ٢٠ سنتيمول / كجم تربة، والهدف هو تخفيض ESP إلى ٥٪، فتكون الاحتياجات الجبسية (GR) كما يلى:

الاحتياجات الجبسية بالطن متري/ هكتار لعمق ٣٠ سم

$$Na_x \times ٤ ر ٥ = \dots\dots\dots (٦ - ٨)$$

حيث:

Na_x يمثل كمية الصوديوم المطلوب إحلالةا ملليمكافى / ١٠٠ جم تربة أوبالستيمول /
كجم تربة (وفى حالة التربة المذكورة = ٢٠٪ من ٢٠ ستيمول / كجم = ٤
ستيمول / كجم).

وعلى ذلك، فإن كمية كلية من الجبس تساوى ١٨ طن متري/ هكتار مطلوبة
لإحلال ٤ ستيمول صوديوم لكل كيلو جرام. ومن أجل تحقيق أفضل نتائج يجب دمج
أوخلط الجبس مع سطح التربة أو تحت السطح. ويجب أيضا إضافة كميات مياه كافية
لغسيل الصوديوم الذى تم إحلالة بواسطة أيونات الكالسيوم.

المراجع :

- Brady, N. C., The Nature and Properties of Soils, Macmillan, New York, 1974.
- Freney, J. R., Forms and reactions of organic sulfur compounds in soils, in Sulfur in Agriculture, Agronomy Monograph Number 27, Tabatabai, M. A., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1986, 207.
- Goodrich, R. D. and Garrett, J. E., Sulfur in livestock nutrition, in Sulfur in Agriculture, Agronomy Monograph Number 27, Tabatabai, M. A., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1986, 617.
- Jones, J. B., Jr., Wolf, B., and Mills, H. A., plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide, Micro - Macro Publishing, Athens, GA, 1991.
- Krupa, S. V. and Tabatabai, M. A., Measurement of sulfur in the atmosphere and in natural waters, in Sulfur in Agriculture, Agronomy Monograph Number 27, Tabatabai, M. A., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1986, 251.
- Landers, D. H., David, M. B., and Mitchell, M. J., Analysis of organic and inorganic sulfur constituents in sediments, soils and water, Intern. J. Environ. Anal. Chem., 14, 245, 1983.
- Mitchell, M. J., David, M. B., and Harrison, R. B., Sulphur dynamics of forest ecosystems, in Sulfur Cycling in Terrestrial Systems and Wetlands, Howarth, R. W., and Stewart, J. W. B., Eds., John Wiley & Sons, New York, 1992.

- Stevenson, F. J., The sulfur cycle, Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients, John Wiley & Sons, New York, 1986, chap. 8, 285.**
- Thompson, J. F., Smith, I. K., and Madison, J. T., Sulfur metabolism in Plants, in Sulfur in Agriculture, Agronomy Monograph Number 27, Tabatabai, M. A., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1986, 57.**
- Tisdale, S. L., Nelson, W. L., and Beaton, J. D. Soil Fertility and Fertilizers, Macmillan, New York, 1985.**
- Trudinger, P. A., Chemistry of the sulfur cycle, in Sulfur in Agriculture, Agronomy Monograph Number 27, Tabatabai, M. A., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1986, 1.**
- Walworth, J. L. and Sumner, M. E., The diagnosis and recommendation integrated system, Adv. Agron., 194, 1987.**
- Westerman, R. L., Ed., Soil Testing and Plant Analysis, SSSA Book series number 3, Soil Science Society of America, Madison, WI, 1990.**
- Williams, C. H., The chemical nature of sulphur in some New South Wales soils, in Handbook of Sulphur in Australian Agriculture, McLachlan, K. D., Ed., CSIRO, Melbourne, Australia, 1974, 66.**

مراجع مساعدة:

- Brimblecombe, P. and Lein, A. Y., Eds., Evolution of the Global Biogeochemical Sulphur Cycle, John Wiley & Sons, New York, 1989.**
- Paul, E. A. and Clark, F. E., Soil Microbiology and Biochemistry, Academic Press, San Diego, 1989.**
- Schlesinger, W. H., Biogeochemistry: An Analysis of Global Change, Academic Press, New York, 1991.**
- Tabatabai, M. A., Ed., Sulfur in Agriculture, Agronomy Monograph Series No. 27, American Society of Agronomy, Madison, WI, 1986.**

الفصل السابع

العناصر النادرة

٧ - ١ مقدمة:

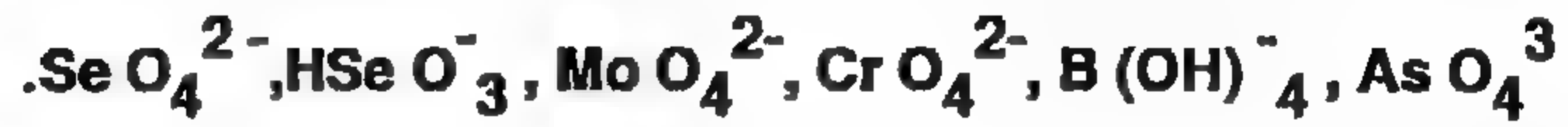
العناصر النادرة هي العناصر الموجودة عادة بتركيزات منخفضة نسبياً في الأراضى والنباتات. وقد تكون أو لا تكون ضرورية لنمو وتطور النباتات، أو الحيوانات، أو الإنسان. والعناصر الغذائية الصغرى والمعادن الثقيلة مصطلحان يستخدمان في بعض الأحيان لوصف أصناف أو فئات من العناصر النادرة. واستخدام مصطلح «العناصر الغذائية الصغرى» يتم تجنبه وتلافيه هنا ؛ لأنه مصطلح يشير إلى أن العناصر محل السؤال ضرورية لنمو وتطور بعض الكائنات، وكثير من العناصر النادرة ليست هكذا. ولقد تم تجنب استخدام المعادن الثقيلة لأن هذا المصطلح بصفة عامة - يشير فقط إلى العناصر الفلزية التي لها وزن ذرى أكبر من الوزن الذرى للحديد (٨٥ جرام/مول)، أو إلى عناصر لها كثافة أكبر من ٥ جم/سم^٣، وهذا يستبعد أيضاً بعض العناصر النادرة. ولقد استعملت مصطلحات أخرى لتصف العناصر النادرة وتشمل: المعادن النادرة، والعناصر الصغرى أو الدقيقة، والعناصر الثانوية، أو غير العضوية النادرة. لاحظ أن بعض العناصر توجد بشكل نموذجى عند تركيزات عالية في الأراضى أو قشرة الكرة الأرضية، ولكنها تعتبر عناصر نادرة بسبب وجودها بتركيزات منخفضة في النباتات. ويعتبر التيتانيوم، والحديد، والألومنيوم نماذج ثلاثة لتلك العناصر النادرة.

وبهذا التعريف الواسع، تشمل العناصر النادرة بوضوح عدداً كبيراً من العناصر واسعة الاختلاف في خواصها الكيميائية. ويمثل شكل ٧ - ١ الجدول الدورى للعناصر، ويشمل العناصر التي لا تعتبر نادرة، وهى العناصر المظلمة، وتوجد العناصر

ويمكن تقسيم العناصر النادرة فى الأراضى إلى ثلاث فئات واسعة اعتماداً على صورتها الكيميائية المتوقعة فى المحاليل الأرضية.

(١) فلزات كاتيونية : وهى عناصر فلزية، الصورة السائدة لها فى المحلول الأرضى كاتيون. ومن أمثلتها Zn^{2+} , Ni^{2+} , Hg^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , Co^{2+} , Cd^{2+} , Ag^{+} .

(٢) الأنيونات الأوكسجينية : وهى عبارة عن عناصر ترتبط بالأوكسجين فى جزئيات محصلة الشحنة الكلية لها سالبة، ومن أمثلتها:



(٣) الهالوجينات : وهى أعضاء المجموعة السابعة (أ) فى الجدول الدورى للعناصر، وتوجد فى صورة أنيونات فى المحلول الأرضى، وهى: I^{-} , Cl^{-} , F^{-} .

ومع ذلك، فإن هذه الفئات ليست فريدة، لأن بعض العناصر يمكن أن توجد فى أكثر من فئة.

والسؤال الذى يشيع تردده هو: ماهى التركيزات النموذجية للعناصر النادرة التى توجد فى الأراضى؟ وعادة يكون هذا السؤال بخصوص مشكلة التلوث المحتملة، ومن أى فرد يريد أن يعرف عما إذا كانت النتائج المتحصل عليها من تحليل التربة تعكس حالة ملوثة أم لا ؟ ولسوء الحظ، لا توجد إجابة واضحة المعالم لهذا السؤال بسبب أن التغير الطبيعى فى تركيزات العناصر النادرة فى التربة كبير إلى حد بعيد، ويعرض جدول ٧ - ١ بعض تركيزات التربة العادية لبعض العناصر النادرة المختارة، بالإضافة إلى بعض التركيزات الشاذة جيوكيميائياً. فالتربة التى تحتوى على تركيز كلى للرصاص يبلغ ٦٠٠ مجم/كجم، على سبيل المثال، تمثل حالة تكون فيها التربة ملوثة بالرصاص، أو أن تركيز الرصاص فيها شاذ جيوكيميائياً. والأمر يتطلب معلومات إضافية لعمل التقديرات الصحيحة.

إن استخدامات العناصر النادرة عديدة، وأهمها مايقع فى مجال المكملات الغذائية للإنسان والماشية والدواجن، إذ أن بعض العناصر النادرة هنا هى عناصر ضرورية. وعادة تحتوى المبيدات على رصاص وزرنيخ؛ ويستخدم الرصاص فى

الجازولين، والدهانات، وأجهزة اللحام، غير أن استخدامها مستمر في التناقص بسرعة. وينتشر استخدام الزنك في صناعة منتجات الكاوتشوك (المطاط) وفي جلفنة الفلزات. ويستخدم الكروميوم في طلاء مكونات السيارات وفي صناعة الصلب.

ومع هذه الاستخدامات المتنوعة للعناصر النادرة، توجد بالمثل وسائل متنوعة لتلوث الأراضي. ومن الناحية التاريخية، فإن تعدين وصهر (سبك) العناصر النادرة ذاتها قد خلق مشاكل تلوث للتربة بالعناصر النادرة، وهي مشاكل في غاية الخطورة. ويمثل شكل ٧ - ٢ منظرًا في شمال شرق ولاية أوكلاهوما يوضح بعض المشاكل البيئية الموجودة في المنطقة التي بها موقع لتعدين الرصاص والزنك. والمادة في الخلفية

جدول ٧ - ١ تركيزات بعض العناصر النادرة في الأراضي عند المستويات العادية والمستويات الشاذة جيوكيميائيًا.

العنصر	المدى «العادي» (مجم / كجم)	المدى الفنى بالعنصر (مجم / كجم)
زرنينخ	> ٥ - ٤٠	يصل إلى ٢٥٠٠
كروميوم	> ١ - ٢	يصل إلى ٣٠
نحاس	٢ - ٦٠	يصل إلى ٢٠٠٠
موليبدينم	> ١ - ٥	١٠ — ١٠٠
نيكل	٢ - ١٠٠	يصل إلى ٨٠٠٠
رصاص	١٠ - ١٥٠	١٠٠٠٠ أو أكثر
سليينيوم	> ١ - ٢	يصل إلى ٥٠٠
زنك	٢٥ - ٢٠٠	١٠٠٠٠ أو أكثر

(Bowie and thomton , 1985.)

عبارة عن أكوام من فضلات الصخور تحتوى على تركيزات زنك ورصاص عالية تصل إلى ٢٪. وتتجرف الحبيبات الناعمة بعيداً عن أكوام (ركام) الصخور المهملة، فتلوث الأراضي المجاورة وتصبح رواسب فى المياه السطحية، وتزداد تدريجياً وبدرجة كبيرة المساحة المتأثرة بنشاط التعدين الأسمى. وبالإضافة إلى ذلك، تعتبر أكوام الصخور هذه مصدراً للتراب الذى يُعرّض الناس للرصاص عبر منطقة واسعة. وتنتج أنشطة التعدين هذه ملوثات أولية تتكون من فضلات الصخور، ونفايات خامات المعادن، والحماة. ويحدث تلوث ثانوى للمياه الجوفية تحت الحفر المفتوحة والبرك، والرواسب فى مجارى الأنهار وخزانات المياه، وأراضى سهول الفيضان المتأثرة بالرواسب الملوثة، والأراضى المتأثرة بانبعاثات المسابك. كما أن هناك ملوثات من نوع ثالث وهى رواسب النهر المتجددة من سهول الفيضان والمياه الجوفية من رواسب خزانات المياه الملوثة.



شكل ٧ - ٢ صورة موقع مهجور لتعدين الرصاص والزنك فى شمال شرق أوكلاهوما.

ويؤدي نشاط التعدين واستخدام مواد أخرى، مثل الفحم الحجري أو النباتي في الغالب إلى تلوث التربة أيضا بالعناصر النادرة. ومحطات معالجة مياه الصرف الصحي للبلديات التي تعالج المدخلات (المخلفات) المنزلية والصناعية، والتي تستخدم بالإضافة للأراضي كاختيار للتخلص من الحمأة، قد تساهم في إغناء الأراضي بالعناصر النادرة، كما ينبعث الكاديوم مع عوادم المركبات من الوقود الديزل، والزنك والكاديوم من التآكل الناشئ عن احتكاك الإطارات، وينبعث النيكل، Mo , W , V , Cr من احتكاك الحديد والصلب، والرصاص من الجازولين (عند معدل منخفض جدا في الولايات المتحدة). وتعتبر بقايا وقود الفحم الحجري أيضا مصدراً للعناصر النادرة، وكذلك بعض الرشاشات الزراعية ومحسنات التربة. وتتغذى الخزائير على النحاس كمكمل غذائي، وتنتج سماداً غنياً بالنحاس يمكن أن يضاف إلى الأراضي الزراعية. والمناطق الزراعية ترتفع في أراضيها تركيزات العناصر النادرة بسبب قريها من مصادر العناصر النادرة. ويبين شكل ٧ - ٢ النقص التدريجي في تركيزات النحاس، والنيكل، والرصاص في أرض الغابة وفي عينات تربة على مسافات من مركز مدينة نيويورك، موضحا النقص في تركيزات العناصر النادرة مع المسافة من المصدر العمومي.

٧ - ٢ التأثيرات العكسية :

من الصعب أن نلخص جميع التأثيرات العكسية من العناصر النادرة بسبب العدد الكبير لهذه العناصر، ولأن كل عنصر يمكن أن يسبب عدداً من المشاكل المختلفة. وبصفة عامة، فهذه الاهتمامات تشمل: صحة الإنسان، وصحة الحيوان، وسمية النباتات، وتأثيراتها على النظم البيئية المائية. والحقيقة التي تعني أن تلوث الأراضي بالعناصر النادرة دائم في جميع الحالات، هي حقيقة بالغة الأهمية ؛ فالإنسان لا يستطيع بسهولة إزالة معظم العناصر النادرة من التربة بمجرد إضافتها ، وسنذكر فيما بعد بعض الأمثلة التي تمد القارئ بتقويم لأنواع المشاكل ذات الأهمية.

٧ - ٢ - ١ صحة الإنسان :

يتعرض الإنسان للعناصر النادرة فى التربة من خلال تحولات سلسلة الغذاء وعن طريق التناول والابتلاع المباشر لحبيبات التربة (شكل ٣ - ١). والحالات الموثقة للسمية الشديدة للعناصر النادرة فى الإنسان التى سببها ارتفاع تركيزات العناصر النادرة فى الأراضى نادرة أوغير موجودة. وهناك مثال شائع يتعلق بالمزارعين اليابانيين ؛ إذ إنهم يقاسون من سمية الكاديوم بعد استهلاكهم على المدى الطويل الأرز المغذى بالكاديوم. ويوجد دليلان لسمية الكاديوم هما الفشل الكلوى ومرض إيتاي - إيتاي Itai - Itai. وكلمة «إيتاي» يابانية، وتعنى «أوتش» "ouch" ؛ وهى صوت يعبر عن الألم أو العطس المفاجئ، والمرض يتسم بفقد العظم للكاديوم، والذي يؤدي إلى حدوث ألم موضعى شديد لدى ضحاياه. ويتم إنماء الأرز فى الحقول الملوثة بالرصاص والزنك الناتج عن أنشطة التعدين والسبك «الانصهار». وهناك ارتباط جيوكيميائى بين الزنك والكاديوم، وعلى ذلك فالأراضى الملوثة بالزنك تعتبر فى الغالب ملوثة بالكاديوم أيضاً. ويبين جدول ٧ - ٢ أن الأرز النامى فى المناطق التى فيها نسبة انتشار المرض أكبر من ١٠٪ كانت تركيزات الكاديوم فيه أكبر بكثير وبلغت ١٤ مرة أعلى من الأرز النامى فى مناطق غير ملوثة.

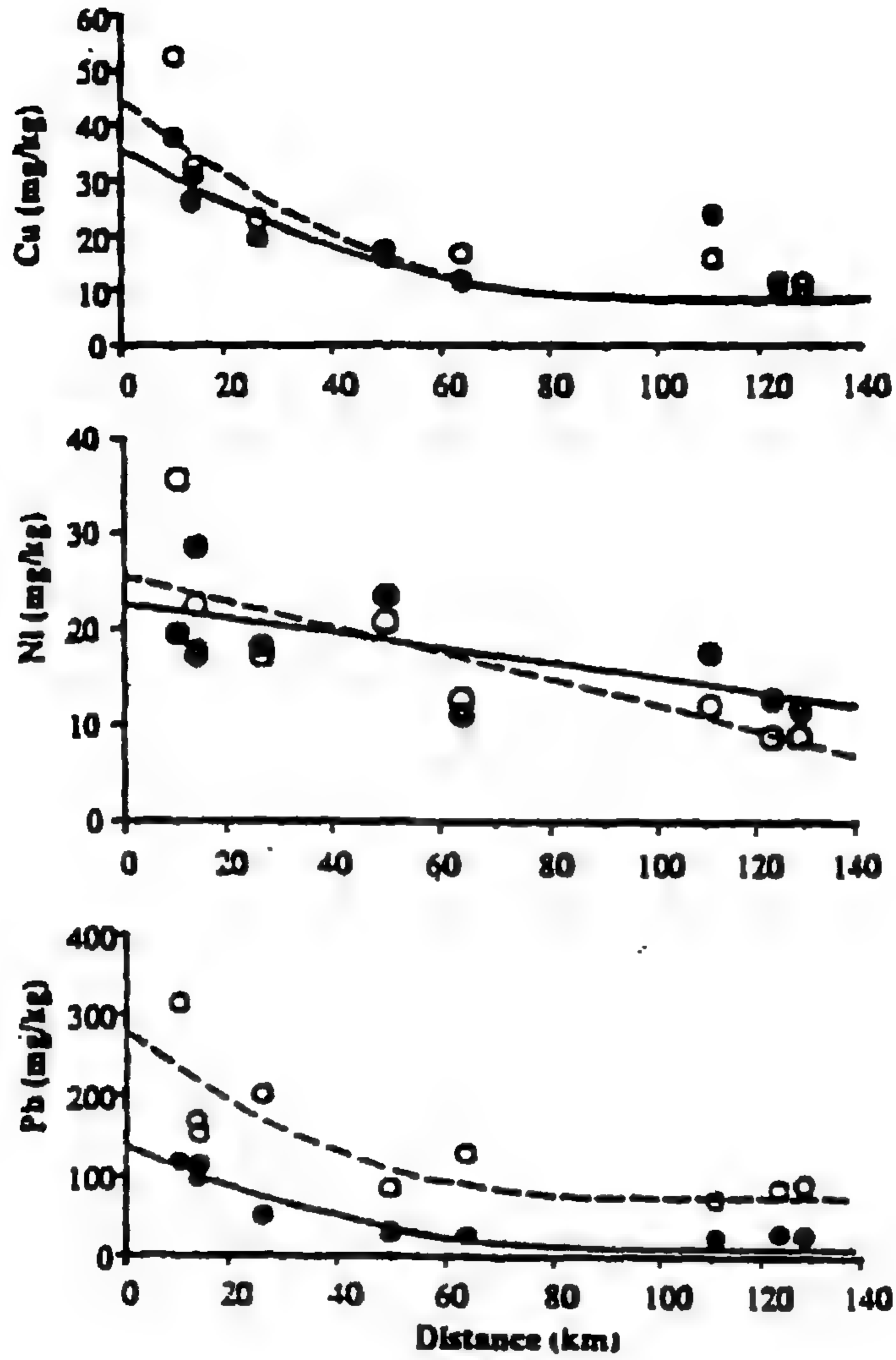
وقد بدأت الجهود لتخفيض أو إزالة الرصاص والجازولين فى الدهانات بسبب المنع غير المباشر لإنتاج الهيماتين (صبغة تنشأ عن انحلال الهيموجلوبين فى الدم) فى الإنسان بواسطة الرصاص. ويعتقد بعض المسؤولين فى مجال الصحة أن التعرض المستمر للرصاص يمكن أن يسبب ضعفاً ذهنياً، بصفة خاصة لدى الأطفال، وأن هذا التعرض يجب أن يقاوم بصرامة. ولقد أوضحت دراسات التغذية أن الأشخاص الذين يعيشون فى اتجاه الريح القادمة من مواقع المسابك القديمة للزنك والرصاص عند استهلاكهم بعضاً من الخضروات النامية فى منازلهم، واللحوم، واللبن - يتلعون على الأقل ٥٠٪ زيادة من الرصاص والكاديوم مقارنة بالغذاء الذى تم شراؤه من منطقة الكنترول، كما أن الدراسات الحديثة عن تأثيرات الرصاص على صحة الإنسان والتى توضح حدوث تأثيرات صحية معنوية عند جرعات الرصاص الأقل عما كان يعتقد

سابقاً، قد أدت إلى زيادة الاهتمام بدرجة كبيرة بالأراضي الملوثة بالرصاص. وترفع المناطق الحضرية القديمة بدرجة كبيرة من تركيزات رصاص التربة الراجع مبدئياً إلى استخدام دهانات منزلية تحتوى على رصاص. كما أن الأطفال معرضون للرصاص عندما يبتلعون مباشرة رقائق هذه الدهانات أو حبيبات التربة.

ومن أهم الاهتمامات الحديثة حالياً هو احتمال حدوث تأثيرات غير سريرية (يتعذر اكتشافها بالفحوص السريرية) سببها التعرض لكميات زائدة بدرجة بسيطة من العناصر النادرة. وتعنى التأثيرات بون السريرية تعذر تشخيص المرض أو أعراضه بالفحوص الطبية المألوفة، على سبيل المثال، اضطراب نقص الانتباه والنشاط الزائد فى الأطفال ؛ لذلك فإن دراسات الأمراض الوبائية مطلوبة لكى نتحرى أو نكتشف الاتجاهات المعنوية. وإن عدد الناس المتأثرين بالعناصر النادرة السامة فى العالم مدهش تماماً، كما هو موضح فى جدول ٧ - ٣. وأيضاً لاحظ أن الأراضي هى المستقبل الرئيسى للانبعاثات العالمية للعناصر النادرة.

٧ - ٢ - ٢ صحة الحيوان :

إن سمية الموليبدنم فى المواشى والدواجن وسمية السلينيوم فى المواشى والدواجن والحيوانات البرية مشكلتان تتعلقان بصحة الحيوان نتيجة التأثير بالعناصر النادرة، وهما منتشرتان نسبياً. وتعتبر الحيوانات المجترة أكثر الحيوانات حساسية لمرض سمية الموليبدنم ؛ أو نقص النحاس الراجع لزيادة الموليبدنم، وتحتوى بعض الأراضي تركيزات عالية من الموليبدنم طبيعياً، وتنتج أعلافاً، وهى تُعجل ظهور أعراض سمية الموليبدنم فى حيوانات الرعى. ويمكن للأراضي أن تكون غنية بالموليبدنم بطبيعتها، أو تصبح غنية به بسبب إضافات مياه رى رديئة الجودة أو حمأة مجارى غنية فى الموليبدنم. ومشاكل السلينيوم واسعة الانتشار بدرجة كبيرة. ويحدث بروز طبقات من الصخور الرسوبية السلينيديدية فوق سطح الأرض فى بعض المناطق على مدار الولايات المتحدة، وبصفة خاصة فى المناطق الجافة ونصف الجافة، وقد تنتج الأراضي المصاحبة لهذه الصخور نباتات بتركيزات سلينيوم وبمستويات يُشتبه أن



شكل ٧ - ٢ تراكمات المعادن الثقيلة في أرض الغابة وفي الأراضي كدالة للمسافة من موقف السيارات المركزي ، ما نهاتان ، بمدينة نيويورك . الدوائر المفتوحة تمثل أرضية الغابة ، والدوائر المغلقة تمثل القيم الخاصة بالأراضي.

(Pouyat and McDonnell , 1991.)

جدول ٧ - ٢ تركيزات الكاديوم فى الأرض (مجم / كجم) فى مناطق انتشار مرض إيتاي - إيتاي.

المنطقة		نوع الأرض
غير موبوءة	نسبة انتشار المرض < ١٠٪	
٠.٤٨ ر.	٠.٥٢ ر.	غير جلودينى : مصقول
٠.٧٩ ر.	٠.٥٤ ر.	غير مصقول
٠.٧١ ر.	١.٢ ر.	جلودينى : مصقول
٠.١٥٠ ر.	١.١٢ ر.	غير مصقول

(Tsuchiya , 1978.)

تكون ضارة للماشية والدواجن. وقد تؤدي أيضاً أنشطة تعدين الفحم الحجري إلى بروز مواد سلينيديدية (محتوية سلينيوم وحديد) إلى السطح. وتمثل محمية الأحياء البرية بمنطقة كيسترسون فى وسط كاليفورنيا - حالة أدت فيها الأنشطة الزراعية إلى التفشي الخطير لمرض التسمم بالسلينيوم للطيور البرية وخاصة البط البرى ، وقد نتج عن رى الأراضى الزراعية ماء صرف يحتوى على تركيز عالى للسلينيوم، وعندما انسب هذا الماء فى منطقة كيسترسون، تركز فيما بعد بالتبخير، وأدى إلى حدوث مشاكل واسعة الانتشار من سمية السلينيوم للأحياء المائية والطيور المائية.

٧ - ٢ - ٣ تسمم النباتات :

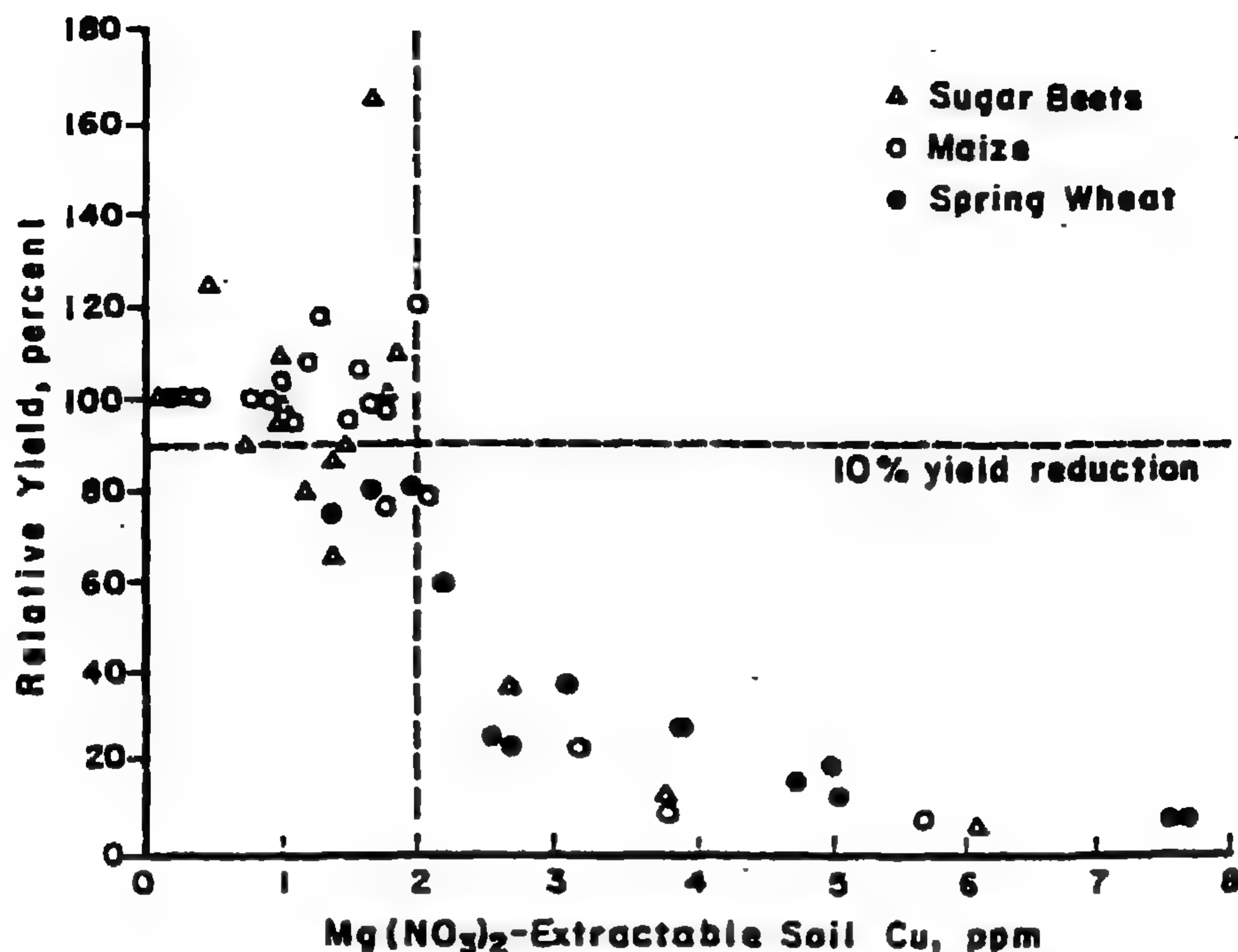
تعد مشكلات تسمم النباتات مهمة لسببين رئيسيين: الأول، إنها قد تؤدي إلى انخفاض إنتاج الأراضى الزراعية، ومثال على ذلك موضع فى شكل ٧ - ٤ : حيث

ينقص المحصول النسبي لثلاث محاصيل كلما ازدادت تركيزات النحاس المستخلص من التربة بواسطة نترات الماغنسيوم. وعندما تزيد تركيزات النحاس المستخلصة عن القيم المحددة بالخط المتقطع الرأسى، يُنتظر أن ينخفض المحصول النسبي بمقدار أكبر من ١٠٪ وفى هذه الحالة، تستمر دراسة النحاس بسبب سمية النحاس للنباتات المحتملة من إضافات النحاس عن طريق أسمدة الخنزير. والأراضى المحسنة بهذا السماد لم تصل بعد، بصفة عامة، إلى الحد الحرج وهو ٢ ملليجرام نحاس لكل كيلو جرام. والسبب الثانى، أنه فى الحالات التى يكون فيها نمو النباتات ضئيلاً بسبب التسمم بالعناصر النادرة، فإن الانجراف بالرياح وبالمياه يمكن أن يحدث بمعدل سريع. وتوجد هذه الظروف غالباً حول المواقع التى يحدث فيها تعدين أو صهر للفلز (شكل ٧ - ٢). وعلاوة على ذلك، يسمح نقص الغطاء الخضرى بتشتت العناصر النادرة فى البيئة المحيطة، وتزداد خطورة المشكلة إلى حد كبير.

جدول ٧ - ٣ القيمة المقدرة لانتشار التسمم بالعناصر النادرة.

العنصر	الانبعاثات العالمية (١٠٠٠ طن متري / سنة)			أعداد الناس المتأثرة	ملاحظات
	الهواء	المياه	الأراضى		
Pb	٣٣٢	١٣٨	٧٩٦	< بليون	Pb فى الدم < ٢٠٠ ميكروجم/لتر.
Cd	٧٦	٩٤	٢٢	٥٠٠٠٠٠	ينتج عنه فشل كلوى .
Hg	٣٦	٤٦	٨٣	٨٠٠٠٠	تسمم مؤكد.
As	١٨٨	٤١	٨٢	< ١٠٠٠٠٠	اضطراب الجلد ، As فى الماء < ٢ ميكروجم / لتر .

(Nriagu , 1988.)



شكل ٧ - ٤ العلاقة بين النحاس المستخلص بواسطة نترات المغنسيوم والمحصول النسبي.
(Lexmond and deHaan , 1977.)

٧ - ٢ - ٤ البيئات المائية :

من الصعب جدا تقدير تأثيرات التركيزات المتزايدة للعناصر النادرة في البيئات المائية، ويعزى ذلك في جزء منه إلى حركة بعض الأصناف وإلى الصعوبة في فصل تأثيرات المياه الملوثة عن الرواسب الملوثة. وانجراف التربة هو الوسيلة الأساسية التي عن طريقها تنتقل العناصر النادرة من الأراضي إلى البيئات المائية. ونسب الإغناء لمعظم العناصر النادرة أكبر من واحد أو تساويه. ويمكن تقسيم الأصناف المائية إلى مجاميع: النباتات (الطافية أو المعلقة ونباتات أعماق البحار أو المحيطات)، واللافقاريات، والأسماك. وتظهر تأثيرات العناصر النادرة عامة عن طريق النقص في التنوع، والإنتاجية، وكثافة الكائنات المائية.

ويمكن لأي عنصر نادر أن يكون له تأثير عكسي على أي كائن عندما تكون الجرعة عالية بدرجة كافية. وتعرض بعض الكائنات لجرعات عالية من العناصر النادرة غير شائع، وعلى ذلك، لا يعتبر مشكلة بيئية. ويبين جدول ٧ - ٤ أصناف الكائنات الحية التي يحدث لها عادة خطر شديد بسبب التعرض لجرعات متزايدة من ١٣ عنصر نادر مهم. لاحظ، مثلاً، أن الرصاص يُهم الإنسان، والحيوان، والكائنات المائية، والطيور، ولكنه نادراً ما تظهر أعراض سميته على النباتات (فيما عدا في حالات معينة عالية التلوث) مقارنة بالبورون الذي سميته للنباتات مهمة بصفة أساسية.

٧ - ٣ التيسر البيولوجي للعناصر النادرة في الأراضي :

لقد انصب هدف هذا الفصل على التركيز الزائد للعناصر النادرة في الأراضي. وبالنسبة لمشكلاتسمية النباتات وتحول السلسلة الغذائية، يصيح التيسر البيولوجي مهماً حيث إنه من المرغوب فيه تقدير أو حتى تقليل التيسر البيولوجي للعناصر النادرة.

جدول ٧ - ٤ ملخص للأنواع الشائع تأثيرها بسمية بعض العناصر النادرة.

الأنواع المتأثرة سلباً					العنصر
نباتات	طيور	كائنات مائية	حيوانات	إنسان	
*	*	*	*	*	Cd
*	*	*	*	*	Se , Cr , Hg , Pb , As
*		*			Zn , Ni , Cu
			*		Co , F , Mo
*					B

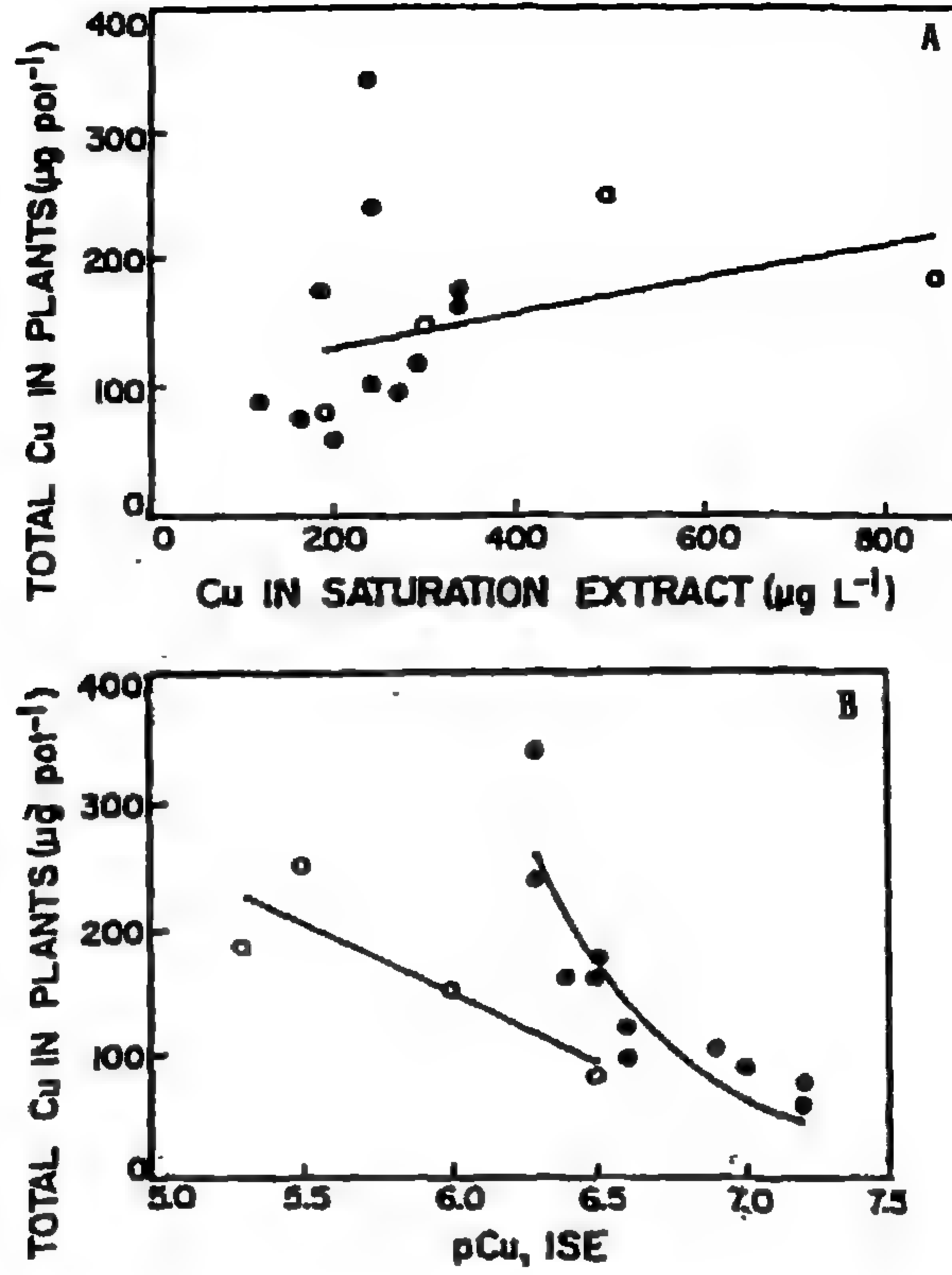
(Page , 1992 .)

وكما ذكرنا في الفصل الثاني، فإن التيسر البيولوجي هو إمكانية أن تُحدث مادة ما في البيئة (العناصر النادرة في الأراضى في هذه الحالة) تأثيراً، إما موجباً أو سالباً. وتعتبر التركيزات الكلية للعناصر النادرة في الأراضى، في الحقيقة، مُتنبئات فقيرة للتيسر البيولوجي للعناصر النادرة. كما يعتبر جزء العنصر الميسر حيويًا، إلى حد ما، جزءًا ثانويًا أو فرعيًا من الجزء الكلى للعنصر النادر الذى يتنبأ جيدًا بالاستجابة. وهنا، يشير هذا التنبؤ بصفة عامة إلى امتصاص النبات للعنصر النادر. وبالرغم من ذلك، يجب الاعتراف أن إضافات العنصر النادر للأراضى، التى تزيد تركيزات العنصر النادر الكلية، سوف تزيد، على الأرجح، التيسر الحيوى للعنصر النادر على الأقل إلى حد ما. وفى هذه الحالة، فقد توجد علاقة بين تركيزات العنصر النادر الكلية وتركيزاته الميسرة بيولوجيًا.

ويمكن أن يستخدم النحاس كمثال لبيان لنا بعض العمليات الداخلة فى التيسر الحيوى. مبتدئًا بالمحلول الأرضى، يمكن للمرء بسهولة أن يقيس تركيز النحاس الكلى فى المحلول (بدون تداخل مع تركيز النحاس الكلى فى عنية التربة) باستخدام جهاز مقياس طيف الامتصاص الذرى. وهذا التركيز يشار إليه بـ Cu_T ، ويمثل فى الحقيقة مجموع أصناف كثيرة مختلفة للنحاس الذائب، كما يلى:

$$Cu_T = Cu^{2+} + Cu OH^+ + Cu CO_3^0 + Cu Cl^+ + \dots (7-1)$$

وكما يشير شكل ٧ - ٥، فإن تركيز Cu^{2+} (على وجه التحديد، نشاط Cu^{2+}) هو الذى يقدر التيسر البيولوجي للنحاس. ويبين الشكل ٧ - ٥ العلاقة بين Cu_T وتركيز النحاس فى نباتات الفول Snapbean. والنواتر المملوءة سوادا تمثل إضافات النحاس إلى التربة من حمأة المجارى، والنواتر المجوفة تمثل إضافات النحاس من كبريتات النحاس. ويوضح شكل ٧ - ٥ ب العلاقة بين pCu (اللوغاريتم السالب لنشاط Cu^{2+} ؛ وكلما يزداد pCu^{2+} ، ينقص نشاط Cu^{2+}) - عندما يقاس باستخدام إلكترود أيونى مختار - وتركيز النحاس فى نباتات الفول Snapbean. ومن الناحية الكمية يستطيع المرء أن يرى أن pCu متنبئ أفضل لتركيزات النحاس فى النباتات من Cu_T . وبصفة عامة، لكل عنصر نادر صنف ذائب (Cu^{2+} فى هذا المثال) له أفضلية



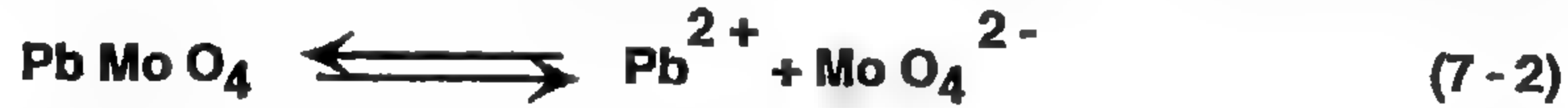
شكل ٧ - ٥ العلاقة بين النحاس الكلى فى نباتات الفاصوليا، Cu_T (a) أو pCu (b) فى المحلول الأرضى . تمثل الدوائر المفتوحة إضافات النحاس للتربة من كبريتات النحاس، وتمثل الدوائر المغلقة إضافات النحاس من حمأة المجارى. (Minnich et., 1987.)

الامتصاص بواسطة النباتات. وعلى ذلك فإن أحد الأمور المهمة للبيولوجى هو مايتعلق بالعوامل التى تتحكم فى نشاط الأصناف الذائبة للعناصر النادرة فى المحلول الأرضى، وهى التى لها أفضلية أن تمتص بواسطة النبات. وبالبداية، فإن هذا معقول لأن الجذور تحصل على النحاس من المحلول الأرضى.

وتمشياً مع مثالنا عن النحاس، فإن أيون النحاس Cu^{2+} الحر يمكن أن يجتاز تفاعلات الامصاص، أو يترسب في هيئة طور صلب محتوي نحاس، أو يتفاعل مع المادة العضوية، أو يكون أصنافاً ذائبة أخرى، أو يغير حالة التأكسد في حالة تغير ظروف التأكسد - الاختزال في التربة.

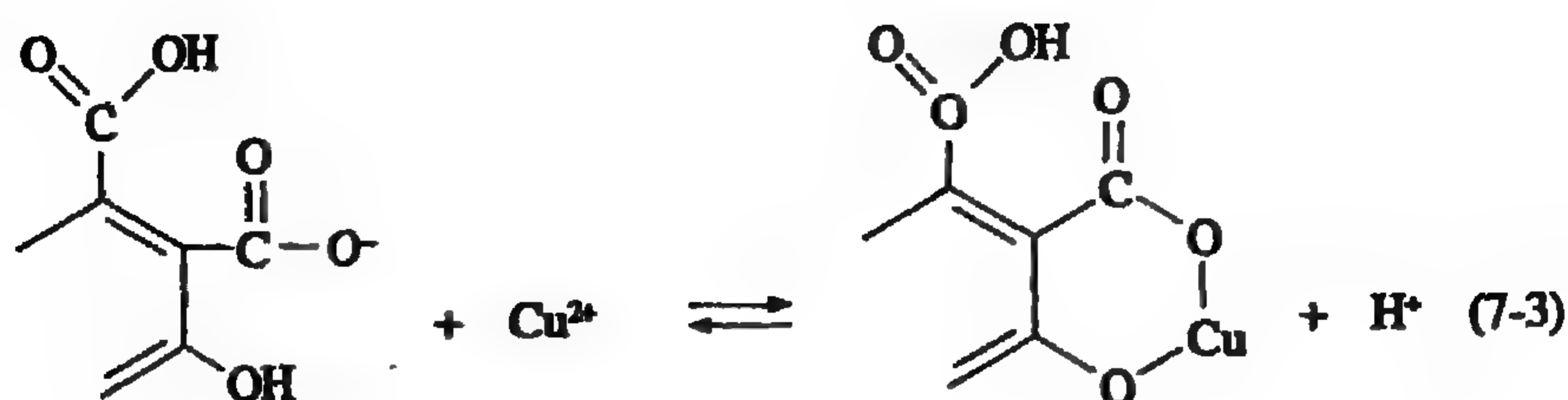
وتشمل تفاعلات امتصاص الكاتيونات عموماً تفاعلات الكاتيون مع مواقع التبادل حيث نجد في هذا المثال أن التجاذب الإلكترونياتيكي بين أيون النحاس Cu^{2+} ومواقع التبادل السالبة الشحنة يؤدي إلى امتصاص Cu^{2+} على الطور الصلب للتربة. ونظراً لأن الأراضي عامة لها محصلة شحنة سالبة، فإن هذا التفاعل في غاية الأهمية للفلزات الكاتيونية. ويمكن أن يشمل أيضاً امتصاص الأنيونات قوى إلكتروستاتيكية، ولكن عملية الامتصاص تتسم بصفة عامة بتكوين رابطة كيميائية بين العنصر النادر والطور الصلب في التربة. ويعتبر امتصاص الموليبدات على معادن أكاسيد الحديد أو الألومنيوم مثلاً لذلك. كما تعتبر تفاعلات الامتصاص للأنيونات الأوكسجينية للعناصر النادرة مشابهة لتلك التي ذكرت في قسم ٥ - ٣ - ١ بالنسبة للفوسفات الأحادي والثنائي، وفي قسم ٦ - ٣ - ١ بالنسبة للكبريتات.

ويحدث ترسيب للأطوار الصلبة للعناصر النادرة عندما يزداد نويان الطور الصلب في المحلول الأرضي، كما هو موضح في التفاعل بين عنصرين نادرين كما يلي:



فإذا كان نظام التربة في حالة اتزان مع موليبدات الرصاص Pb Mo O_4 (ووافينيت)، فإن الطور الصلب يتحكم في نشاط أيونات الرصاص أو / والموليبدات في محلول التربة.

وتحتوي المادة العضوية في التربة على أنواع عديدة من المجاميع الفعالة التي تستطيع أن تكون مركبات معقدة مع العناصر النادرة، أو تعمل كمواقع تبادل. ومثال للتفاعل الذي فيه مجاميع الكربوكسيل (COOH) والهيدروكسيل (OH) تعمل معاً لتكوين مركب معقد مع النحاس؛ موضح كالاتي:



وهناك عناصر نادرة عديدة تمر بتغيرات في حالة التأكسد تحت مدى ظروف التأكسد والاختزال الموجودة في التربة. ويعتبر الزرنيخ، Fe, Cr, Cu, Se, Mn، أمثلة نموذجية على ذلك. فالسلينيوم، مثلاً، يمكن أن يوجد في صورة سلينييد (Se^{2-})، سلينيوم عنصر (Se^0)، سلينيت (SeO_3^{2-} مع Se^{4+})، سليينات (SeO_4^{2-} مع Se^{6+}) في الأراضي والرواسب. والسليينات لها درجة تيسر بيولوجية أعلى بكثير عن صور السلينيوم المختزلة بدرجة كبيرة. ويمكن أيضاً لظروف التأكسد - الاختزال للتربة أن تؤثر بطريق غير مباشر في التيسر البيولوجي للعناصر النادرة. مثلاً، يكون التيسر البيولوجي للكادميوم منخفضاً أكثر تحت ظروف الغمر (ظروف لا هوائية). وهذا يمكن أن يعزى إلى تكوين مركب CdS غير ذائب في البيئة المختزلة.

وكتيجة للتيسر البيولوجي للعناصر النادرة يمكن للذوبان أن يتأثر إلى حد كبير برقم حموضة التربة. وعموماً، يزداد التيسر البيولوجي للفلزات الكاتيونية كلما ينقص pH التربة. كما أن تأثيرات pH التربة على التيسر البيولوجي للأنيونات الأوكسجينية متغيرة بدرجة كبيرة، فالزرنيخ، والموليبدنم، والسلينيوم، وبعض صور الكروميوم، غالباً تصبح ميسرة للنبات كلما يزداد رقم الحموضة.

وهناك عدد من الأسباب التي تعطل تغيير التيسر البيولوجي للعناصر النادرة مع التغيير في pH التربة، فيمكن أن تتنافس البروتونات أو أيونات الهيدروكسيل على الادمصاص أو على تكوين مواقع معقدات؛ وعلى ذلك فالتغيير في نشاط أيونات الهيدروجين أو الهيدروكسيل يمكن أن يغير تقسيم أو تجزئة العناصر النادرة بين

المحلول الأرضي وبين الطور الصلب للتربة. والتغير في pH المحلول الأرضي يمكن أن يغير مجموعة الأصناف الذائبة للعنصر النادر. فمثلا، عند pH أقل من ٦ يسود أيون Pb^{2+} ، بينما عند pH ٦ - ١١ تسود صورة $Pb(OH)^+$. والأطوار الصلبة للعناصر النادرة يمكن أن تعتمد درجة ذوبانها على رقم الحموضة. وفي الحالات التي تكون فيها الأطوار الصلبة هي المتحكمة في درجة ذوبان العنصر النادر، فإن التيسر البيولوجي يتغير مع التغير في pH. وسنقدم مثالا بسيطا حيث يذوب معدن التينوريت (CuO) بإضافة أيونات هيدروجين. وفيما يلي معادلات الاتزان جنبا إلى جنب مع التعبير الرياضي الذي يصف التغير في لوغاريتم نشاط النحاس Cu^{2+} مع التغير في pH. وفي استنباطنا للتعبير الرياضي الأخير افترضنا أن نشاط كل من الماء H_2O والمعدن الصلب CuO يساوي واحد، وأخذنا لوغاريتم معادلة الاتزان، كما حولنا لوغاريتم نشاط الهيدروجين إلى pH (رقم حموضة):



$$\frac{(Cu^{2+}) + (H_2O)}{(CuO)(H^+)} = 10^{7.66} \quad (7-5)$$

$$\text{Log}(Cu^{2+}) = 7.66 - 2 \text{ pH} \quad (7-5)$$

وهكذا فكلما ينقص pH، يزداد نشاط Cu^{2+} والعكس بالعكس.

ويوضح جدول ٧ - ٥ تأثير pH التربة على تركيزات البورون، Ni, Mo, Cu, Cd في أنسجة البرسيم الحجازي، فينقص التيسر البيولوجي للبورون، Ni, Cu, Cd مع زيادة pH، بينما العكس صحيح بالنسبة للموليبدينم.

ومن الناحية العملية، من الصعب جدا أو من المستحيل أن تقدر نشاط الأيون في عينة ممثلة للمحلول الأرضي، وتوجد إلكترونيات (أقطاب) مختارة ميسرة لقلة أو عدد محدود من الأيونات، وتستطيع قياس نشاط الأيون مباشرة في المحاليل المائية. وحتى في هذه الحالة، فالأنشطة الموجودة في المحاليل الأرضية أو مستخلصات التربة تكون في الغالب أقل من حد الاكتشاف للعناصر النادرة إلا إذا كان المرء يتعامل مع تربة ملوثة بدرجة كبيرة. وتوجد طرق أخرى أقل مباشرة وأكثر إرهاقا لتقدير نشاط

جدول ٧ - ٥ تركيزات بعض العناصر في أنسجة نبات البرسيم الحجازي حسب تأثيرها برقم حموضة التربة pH (مجم / كجم).

Mo	Ni	Cu	B	Cd	pH
١٩٣	١٩	١٧٧	٦٤١	٠.٨	٦.٠
٣٤٢	٠.٨	١٦٨	٤٠.٩	٠.٦	٧.٠
٣٧٠	٠.٨	١٦٠	٣١.٨	٠.٤	٧.٧

(Pierzynski, 1985.)

الأيون، ولكنها غير قابلة للتطبيق في التحليل الروتيني للأراضي. وكبديل لذلك، اقترحت مستخلصات تربة عديدة تقدر تجريبيا التيسر الحيوي للعناصر النادرة. وفي أبسط الحالات، فإن هذه المستخلصات عبارة عن محاليل أملاح ضعيفة تكون فيها تركيزات العنصر النادر أعلى من تركيزاته في المحلول الأرضي (للتغلب على مشاكل حد الاكتشاف). وتعتبر النتائج المدونة في شكل ٧ - ٤ أمثلة لذلك. ولقد تم أيضا تطوير طرق تجزئ أكثر تعقيدا تحاول أن تفصل تركيزات العنصر النادر إلى صور: قابلة للتبادل، وذائبة في الماء، ومرتبطة بالكربونات أو الأكسيد، ومرتسبة، ومتبقية. ولكي يتم الإفادة من مخططات الاستخلاص هذه، يجب إيجاد العلاقة بين تركيزات العنصر النادر المستخلص من التربة وتركيزاته في النبات، مثل تلك الموضحة في شكل ٧ - ٥.

وقد تستخدم النباتات ذاتها كأدلة أو مؤشرات للتيسر الحيوي للعنصر النادر. واستجابة النبات للعناصر النادرة في الأراضي تكون على صورة: نباتات مُجمعة، أو نباتات أدلة، أو نباتات مانعة أو مستبعدة؛ فالنباتات المجمعة هي النباتات النشيطة في امتصاص العنصر، بصرف النظر عن ضروريته، أو دون حاجة ظاهرة لذلك، ويمكن أن تحتوى على تركيزات عالية بدرجة هائلة من العنصر بدون أن تعاني أى تأثيرات مرضية. وتستطيع النباتات البقولية أن تجمع الموليبدنم بالرغم أن احتياجاتها البنائية

للموالبدينم منخفضة تماما. وبعض أصناف الجنس *Astragalus* مجمعة للسلينيوم، ويمكن استغلال وجودها كوسيلة للتعرف على الأراضي الغنية في السلينيوم. والنباتات الأدلة هي الأصناف التي تمتص عنصر ما بكمية متناسبة مع كميته الموجودة في الأرض (حتى تحدث سمية للنبات)، ولكنه لا يحتاج العنصر بالضرورة من أجل نموه. والنباتات المستبعدة أو المانعة وهي تمنع بنشاط امتصاص العناصر بدرجة تجعل تركيز العنصر النادر في النباتات يظل منخفضا نسبيا وثابتا عند مستويات مختلفة للعنصر النادر في التربة.

ويبين جدول ٧ - ٦ الاختلاف في تركيزات الكاديوم والزنك التي توجد في أصناف مختلفة للنباتات النامية في نفس التربة والاختلاف في تركيزات الكاديوم بالنسبة لأصناف معينة للنباتات النامية في ثلاث أراضي مقارنة بتركيزات الكاديوم. ويوجد فرق كبير جدا يبلغ ١٥ ضعفاً في تركيزات الكاديوم بين أصناف النبات داخل الأراضي، ويبلغ الاختلاف خمسة أضعاف تركيزات الكاديوم بين الأراضي لصنف واحد معين. ومما يستحق ذكره أن النباتات النامية في تربة Gazos، التي لها أعلى pH وأعلى سعة تبادلية كاتيونية، لم تحتوى بانتظام على تركيزات كاديوم أقل مقارنة بالنباتات النامية في باقي الأراضي.

ومعرفة العمليات الداخلة في التيسر الحيوي للعناصر النادرة تساعد في فهم المبررات وراء اختيارات الإدارة للأراضي الملوثة بالعناصر النادرة. وهذه العمليات ملخصة في شكل ٧ - ٦ الذي يصف الدورة البيوجيوكيميائية العامة للعناصر النادرة في النظم البيئية الزراعية. وتعتبر الكمية الكلية للعنصر النادر في المحلول الأرضي في وقت معين صغيرة بالمقارنة بما تزيله النباتات على مدار الزمن. وهناك تفاعل ديناميكي بين المحلول الأرضي والطور الصلب للتربة. والعمليات التي تتفاعل مع المحلول الأرضي، والتي لها سهم مزدوج الاتجاه تكون في حالة اتزان سريع مع المحلول الأرضي. وهذه المستودعات (المصادر) للعناصر النادرة تسمى أحيانا احتياطي ميسر، أو اللابايل أي القابل للإحلال أو التغير، وهي تمثل على الأرجح معظم الصور الميسرة بيولوجيا للعناصر النادرة. ولعل أفضلها هو ذلك الممتص بواسطة النبات. وعندما تمتص النباتات العناصر النادرة من المحلول الأرضي، تقوم مستودعات الاحتياطي الميسر (اللابايل) بتعويض المحلول الأرضي في فترة وجيزة من الزمن بدرجة كافية

جدول ٧ - ٦ تركيزات الكاديوم والزنك في أوراق محاصيل مختلفة حسب
تأثرها بسلسلة الأراضي (مجم / كجم).

النبات	Zn			Cd		
	Domino	Greenfield	Gazos**	Domino	Greenfield	Gazos*
طماطم	٩٩ر٥	١٢١ر٠	٢٠ر٠	١٢ر٩	١٦ر٥	٥ر٨
فلفل	٢٠٥ر٠	١٩٥ر٨	١٠٨ر٠	١٠ر٢	١١ر٤	٢٦ر٢
بدق الخس	١٢٧ر٠	٣٥٤ر٠	٥٨ر٠	١٥ر٨	٦٣ر٧	٢١ر٩
رأس	١٤٣ر٨	٢٨١ر٠	٥٧ر٣	١٧ر٩	٤١ر٦	٢٦ر٣
الخس	٢٤٦ر٨	٣٣٢ر٨	٤٨ر٨	١٤ر٠	١٧ر٩	١٩ر٦
فجل	٢٧ر٥	٥٠ر٥	٢٦ر٥	٤ر٦	٨ر٧	١٥ر٦
بطاطس	١٥٤ر٨	٢٣٩ر٥	٤٧ر٠	١٤ر١	١٩ر٣	٤ر١
نرة	١٣٠ر٥	٢١٠ر٠	٤٢ر٥	٣ر٣	٩ر٠	١ر٨
قمح	٣٤٩ر٨	٨٨٤ر٠	٣٣ر٥	١٩ر٥	٣٧ر٩	٨ر٠
شمندر	١٦٧ر٨	٢٨٨ر٠	١٩ر٠	٦ر٤	٨ر٨	٧ر٤
بروكلي	١٠٩ر٥	١٥٥ر٥	٤٧ر٨	١٠ر٥	١٤ر٥	١٠ر٧
جزر	٤٤٦ر٥	١٠٢٣ر٣	٤٨ر٣	٢٣ر٧	٥١ر٨	١١ر٥

(Kim et al., 1988.)

* تركيزات الكاديوم الكلى في التربة كانت ٠,٦ ، ٠,١ ، ٠,٣ ، ٥ مجم / كجم لأراضي Domino, Greenfield , Gazos على الترتيب.

** تركيزات الزنك الكلى في التربة كانت ١٤٧ ، ٢٥٠ ، ٣٠٩ مجم / كجم لأراضي Domino, Greenfield, Gazos على الترتيب.

الترسيب الجوي، ترسيب الراسب،
الاسمدة التجارية، الاسمدة الحيوانية،
الحماة، الكيوس، البيدات، ... إلخ



إزالة

تطاير

النباتات

مادة عضوية

تفاعلات تبادل أيوني

مصدر غير ميسرة

المحلول الأرضي

ترسيب / ذوبان

ادمصاص / عكس الادمصاص

غسيل

التعرية

شكل ٧ - ٦ دورة العناصر النادرة في الأراضي: المستطيل الكبير يُحدّد حدود السونام.

توفر النبات بالضرورة مصدراً ثابتاً للعنصر النادر. أما الصور غير الميسرة فقد تسهم مساهمة بسيطة جداً في امتصاص النبات. وتشمل الصور غير الميسرة الطور المفصول فيزيائياً عن المحلول الأرضي للعنصر النادر (المرتبط) والأطوار الصلبة الشحيحة النوبان للعنصر النادر. لاحظ أن هناك أربعة طرق فقط لإزالة العناصر النادرة من نظام الأرض ، وهى الإزالة فى المحصول، والإزالة بالانجراف، والإزالة بالغسيل، والإزالة بالتطاير. وتعتبر الإزالة فى المحصول كبيرة بالمقارنة بكميات العناصر النادرة سهلة المنال بواسطة النظام الجذرى للمحصول. ويعد الفقد بالانجراف والفقد بالغسيل غير مرغوبين ؛ حيث إنهما يمثلان انتشاراً إضافياً للملوثة الضار. ويعتبر الفقد بالتطاير مساراً مهماً للقليل فقط من العناصر النادرة.

٧ - ٤ اختيارات العلاج للأراضى الملوثة بالعناصر النادرة :

وكما هو متبع مع كثير من المشكلات ، يعتبر المنع أفضل وسيلة عادة ، ولا استثناء فى تلوث الأراضى بالعناصر النادرة. ونعيد إلى الأذهان أنه قيل أن تلوث الأراضى بالعناصر النادرة دائم فى معظم الحالات. وفى ضوء ذلك، يتم أحياناً تنظيم إضافات العناصر النادرة. وتوجد حالة وثيقة الصلة بالموضوع وهى التشريعات الحديثة للتخلص من حمأة المجارى التى فرضت حدوداً (مستويات) للعناصر النادرة التى يمكن أن تدخل إلى التربة عن طريق إضافة الحمأة للأراضى. وهذه الحدود مدونة فى جدول ٩ - ٤ . ولقد وضعت هذه الحدود بعد اتباع طرق تقدير مناسبة (سوف توصف فى الفصل الحادى عشر)، وعُمل لها توفيق بين حماية جودة التربة واستخدام التربة كوسط للتخلص من العناصر الغذائية للنبات والمادة العضوية الموجودة فى الحمأة.

وهناك إستراتيجيتان عامتان يمكن اتباعهما مع الأراضى الملوثة بالعناصر النادرة. الأولى، سوف نعطيهما مصطلح «تقنيات المعالجة»، وهو يشير إلى التربة التى تحركت فيزيائياً وعوملت بطريقة ما فى محاولة لتخفيض تركيزات العناصر النادرة أو تخفيض خاصية السمية لها باستعمال طريقة الغسيل (الاستخلاص) (TCLP) إلى

مستويات مقبولة. وطريقة TCLP عبارة عن بروتوكول يستخدم بواسطة وكالة حماية البيئة الأمريكية، وهي الجهة التي تُحدّد المواد التي تُغسل تحت ظروف قياسية. وعندما تتعدى تركيزات المواد المختلفة الحد الحرج بدرجة ما، تصنف المادة على أنها خطيرة. والثانية، نعطيها مصطلح «الإدارة في نفس الموقع» وهو يشير إلى التربة التي يتم إدارتها أو معالجتها في نفس مكانها. وهناك فئتان فرعيتان من داخل اختيار الإدارة في نفس الموقع؛ الفئة الفرعية الأولى: العزل؛ وهو أحد العمليات التي عن طريقها يؤخذ حجم من التربة ويتم تحجيره أي تحويله إلى حالة صلبة، كما يتم منعه فيما بعد من أي تفاعل مع البيئة. وتتكون الفئة الفرعية الثانية من الطرق المستخدمة لغرض تقليل أو تخفيض التيسر الحيوي للعناصر النادرة.

٧ - ٤ - ١ تقنيات المعالجة :

تشمل تقنيات المعالجة مجموعة واسعة التنوع من عمليات تتراوح من المعالجة بالحرارة العالية لإنتاج مادة زجاجية حبيبية غير قابلة للغسيل إلى إضافة مواد لها قدرة تحجر (تصلب) لإنتاج مادة شبيهة بالأسمنت في عمليات الغسيل، والوصف التفصيلي لهذه التقنيات لا يدخل في نطاق هذا الكتاب. وهذه العمليات فعالة ومؤثرة، إما في تخفيض تركيزات العناصر النادرة في التربة أو في تخفيض تركيزات العناصر النادرة المستخلصة بواسطة TCLP إلى حد مقبول.

وتوجد بعض نقاط الضعف في تقنيات المعالجة جديرة بالذكر؛ وهي أن الكتل المتحجرة من التربة، وأي عناصر نادرة تزال من التربة سوف تظل في حاجة إلى التخلص منها. وهذا قد يتطلب معالجة إضافية للأحجام الكبيرة من مياه الصرف الصحي. وعلى ذلك، فإن مشكلة العناصر النادرة قد تتغير صورتها ولكنها تظل قائمة. ولعل أهم نقطة ضعف هي الحقيقة التي تعني أن مشاكل التربة الملوثة بالعناصر النادرة تتضمن كميات كبيرة من التربة بصفة متكررة. وتوجد حالة وثيقة الصلة بالموضوع في ريف شيروكي، ولاية كنساس، التي ينتشر فيها مواقع عديدة لتعدين

الرصاص والزنك الموجود بوفرة. ولقد ورد في حصر الأراضي للريف وجود ١٢١٦ هكتار لمواقع مناجم مهمة. وجميع هذه المناطق بها تركيزات عالية جدا من الرصاص والزنك في التربة أو مادة المنجم التالفة المتبقية في الموقع، وقد تصبح مفيدة بعد العلاج. وإذا عولجت الـ ١٥ سم العلوية لهذه المناطق، فسوف تحتاج حوالي ٢٤ x ٦١ ميغا جرام (طن) من مادة المعالجة. وهذا تقدير متحفظ جدا بسبب أن معالجة الـ ١٥ سم العلوية ليست كافية، وهناك أيضا مناطق أخرى كثيرة تحتاج العلاج، وهذه ليست ظاهرة في الوقت الحالي في حصر الأراضي. وحتى في حالة وفرة تقنية معالجة فعالة، ستكون مرتفعة التكلفة مما يمنع معالجة كميات المادة اللازمة لحل المشكلة. وبناء على ذلك، فإن تقنيات المعالجة قاصرة على الحالات التي لها أحجام صغيرة من التربة تحتاج إلى المعالجة.

٧ - ٤ - ٢ الإدارة أو العلاج في نفس الموقع :

العزل، وهو فئة فرعية لاختيار الإدارة في نفس الموقع، ويشمل الإضافات في نفس الموقع للعمليات المذكورة تحت اختيار تقنيات المعالجة. ويستخدم التزجيج (التحويل إلى زجاج) في نفس المكان تيارا كهربائيا ماراً خلال حجم من التربة والذي ينتج مونوايث زجاجي (مونوايث: حجر ضخمة وحدة واحدة متراصة). ويشمل التحجر أو التصلب في نفس الموقع خلط التربة مع مواد تعمل على التصلب بدون إزالة التربة من مكان استقرارها الأصلي. ويتكون مونوايث في نفس المكان، وهو مشابه لعملية إنضاج الخرسانة بالترطيب منعاً لتشققاتها. وتُعزل كلتا العمليتين الملوثات من البيئة المحيطة عن طريق تغليفها أو كبسلتها في قالب غير مسامي.

ولعل من أعظم الأمور أهمية في سياق هذا الكتاب الطرق التي تستخدم لتقليل التيسر البيولوجي للعناصر النادرة. وهذه من صميم اهتمامات عالم الأراضي حيث إن الاختيارات السابقة ذكرها عبارة عن مفاهيم هندسية ، وتشمل الطرق التي ستناقش:

تغيير رقم حموضة التربة pH، وزيادة سعة الامصاص للأراضي، وترسيب العناصر النادرة في صورة طور صلب غير ذائب، والتخفيف، وتفاعلات الفلز مع الفوسفور، وتشجيع الفقد بالتطاير. وقد درست جيداً تأثيرات رقم حموضة التربة، والسعة التبادلية الكاتيونية، وتفاعلات الامصاص على التيسر البيولوجي للعناصر النادرة، وذكرت في كتب الأراضي، بالرغم أنها عامة وليست في مجال تقنية العلاج. والطرق الباقية مذكورة غالباً في المقالات الهندسية الخاصة بتقنيات علاج الأراضي، ولكنها ليست دائماً معروضة مع نتائج تثبت فعاليتها.

ومن بين جميع الطرق المستخدمة لتخفيض التيسر البيولوجي للعناصر النادرة، زيادة pH التربة باستخدام الجير (عامة إلى 5 أو أكثر)، وربما هي أكثر طريقة شائعة مستخدمة. وهذا بسبب الانتشار العام للمشاكل بالفلزات الكاتيونية عكس الأنيونات الأكسجينية، وبسبب الحقيقة التي تعنى أن إدارة pH التربة جزء روتيني من برنامج خصوبة التربة. وبكل وضوح، عندما يتعامل المرء مع حالة متضمنة أكثر من عنصر نادر - كما هو موضح في جدول ٧ - ٥ - فإن تغيير pH التربة قد يُحسن الأمور بالنسبة لبعض العناصر، وقد يجعل الأمور أسوأ بالنسبة لعناصر أخرى.

وأوضحت الدراسات أن تيسر بعض العناصر النادرة للنبات يتأثر بالسعة التبادلية الكاتيونية للتربة، مع انخفاض في درجة التيسر كلما تزداد السعة التبادلية. ونظرياً، تُعتبر زيادة السعة التبادلية الكاتيونية للتربة طريقة فعالة من أجل تخفيض التيسر البيولوجي للعناصر النادرة. والزيادة في السعة التبادلية الكاتيونية للتربة يمكن تحقيقها عن طريق إضافة طين له سعة تبادلية عالية، أو ربما عن طريق إضافة مواد عضوية (مثل الأسمدة الحيوانية، والحماة، والبيت). ويمكن للمواد العضوية أن تُكون مركبات معقدة مع العناصر النادرة. ومع أي نوع من المواد السابقة، تزداد سعة الامصاص للتربة، والتي تقلل التيسر البيولوجي للعناصر النادرة، ويمكن أن تزداد أيضاً سعة امتصاص التربة للأنيونات الأوكسجينية، مع انخفاض تابع في درجة تيسرها البيولوجي، عن طريق إضافة كميات كبيرة من أملاح الحديد أو الألومنيوم. وسوف تذوب الأملاح وتنتج أكاسيد وهيدروكسيدات حديد وألومنيوم، التي تعتبر

بالوعات فعالة جدا لأوكسى أنيونات معينة. وهناك بعض الشك عما إذا كانت التغيرات التى تحدث فى التيسر البيولوجى نتيجة إضافة مواد مثل الطين، أو البيت، أو أملاح الحديد أو الألومنيوم تعزى إلى التغيرات فى السعة الادمصاصية، أو إلى التغيرات فى بعض صفات التربة الكيميائية الأخرى مثل رقم الحموضة pH.

ويمكن أن تسبب إضافة أملاح الهيدروكسيد، والكربونات، والفوسفات، والكبريتات، أو الأملاح المحتوية كبريتيد، ترسيباً للطور الصلب المناظر المحتوى على العنصر النادر. وإذا تحكّم الطور الصلب بعدئذ فى نشاط العنصر النادر فى المحلول الأرضى، وأصبح النشاط منخفضاً عن المستوى الابتدائى، فإن التيسر البيولوجى للعنصر النادر سوف ينخفض.

ويشير التخفيف ببساطة إلى تخفيف الأرض الملوثة بمادة غير ملوثة. وهذه المادة تكون فى الغالب تربة غير ملوثة، ولكنها يمكن أن تكون مواد أخرى مثل حمأة المجارى، أو مخلفات مصنع الورق، أو الأسمدة الحيوانية، أو رماد الفحم الحجري، ويمكن تحقيق التخفيف أيضاً بالحرث العميق، مع افتراض أن الآفاق تحت سطح التربة لها مستوى تلوث أقل بكثير إذا قورنت بمادة سطح التربة. وهذا هو الحال فى الغالب عندما يكون الترسيب الهوائى للعناصر النادرة عاملاً مهماً فى عملية التلوث.

وقد درست بدرجة كبيرة تفاعلات الفلز مع الفوسفور بالنسبة لنقص العناصر النادرة فى المحاصيل الراجع إلى زيادة الفوسفور. وهذا النقص فى درجة التيسر البيولوجى للعناصر النادرة الذى سببه الفوسفور قد يكون مفيداً أيضاً فى تخفيض مستويات العناصر النادرة السامة للنبات أو فى تخفيض انتقال العناصر الغذائية فى السلسلة الغذائية. وينتشر هذا التفاعل مع الزنك، والنحاس، والحديد، ومع ذلك، فإن الآلية الحقيقية لتفاعل الفلز والفوسفور غير معروفة. وتشمل الآليات المفترضة علاقات الانتقال، والتداخل البنائى، وانخفاض تركيزات العناصر النادرة فى النبات الراجع إلى استجابة النمو للفوسفور مع حدوث تخفيف بعد ذلك للعناصر النادرة، وتكوين أطوار صلبة غير ذائبة للعناصر النادرة. ويمكن لأنيونات الفوسفور الأوكسجينية أن تتفاعل أيضاً مع أنيونات أوكسجينية أخرى. ويزداد التيسر البيولوجى لبعض الأنيونات

الأوكسجينية، وخاصة الزرنيخ، مع زيادة مستويات الفوسفور. ويعزى هذا التفاعل ربما إلى إحلال الفوسفور محل الزرنيخ على مواقع التبادل.

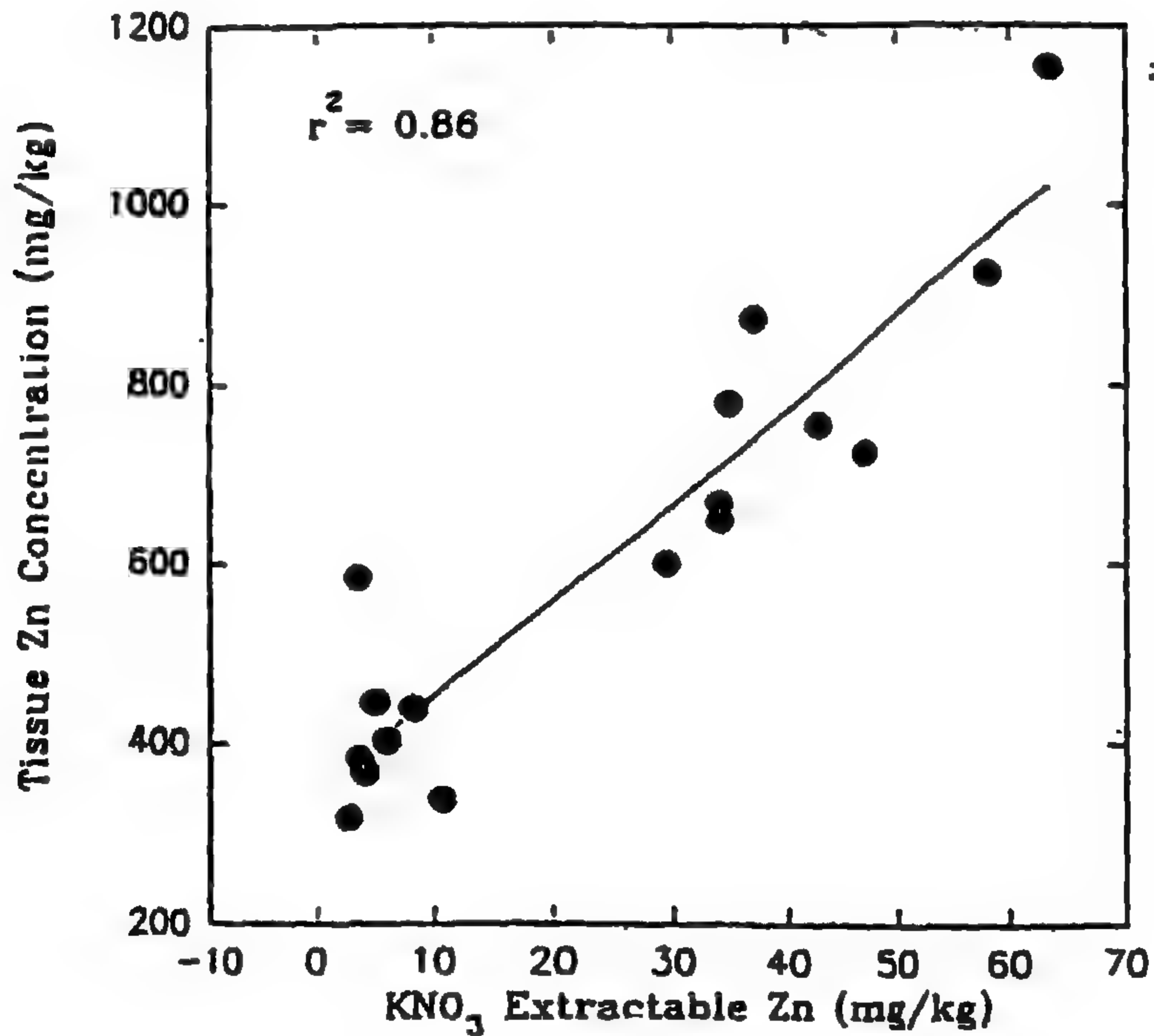
ومعروف منذ زمن طويل أن بعض العناصر النادرة توجد في صور متطايرة. وهذا صحيح بصفة خاصة بالنسبة للزرنيخ، والزنابق، والسيلينيوم. وهذه الصور المتطايرة عامة مُمتلئة (أى مشبعة أو ممزوجة بالميثيل). ومن أمثلة ذلك: ثلاثى ميثيل الزرنيخ $[(CH_3)_3 As]$ ، أحادى وثنائى ميثيل الزنابق $[(CH_3)_2 Hg]$ ، $[CH_3 Hg]^+$ وثنائى ميثيل السليينيد $[(CH_3)_2 Se]$. ويتم إنتاج الصور الممتلئة أو المشبعة بالميثيل لهذه العناصر النادرة فى الوسط بفعل ميكروبي باستخدام عديد من المواد. وحديثا، حدث تقدم وتطوير للفكرة عن طريق تشجيع أو تحفيز إنتاج الصور المتطايرة للعناصر النادرة كوسيلة لعلاج الأراضي الملوثة. وهذه هى أحد الطرق البيولوجية. القليلة الميسرة للعناصر النادرة. وأوضحت الدراسات الحقلية حدوث انخفاض حوالى ٧٠٪ فى تركيزات السيلينيوم فى الرواسب بعد تحفيز التكاثر الميكروبي عن طريق إضافة العناصر الغذائية أو / والمواد العضوية والمحافظة على ظروف النمو المثالية (من رطوبة وتهوية). ويجب ملاحظة أن عمليات العلاج هذه وأمثالها ليست مناسبة للزنابق ؛ لأن مركبات الزنابق الممتلئة سامة جدا، ومختلفة فى ذلك عن مركبات ثنائى ميثيل السليينيد.

ويجرى حالياً دراسة طريقة علاج بيولوجية تجريبية أخرى، وتشمل استخدام أصناف النباتات المُجمعة بإفراط، التى تُجمع المعادن فى أنسجتها بتركيزات عالية جدا. ويعتبر نبات *Thlaspi alpestre* مجمعا بإفراط للزنك، وقد وجد أنه ينمو عندما تكون تركيزات الزنك فى التربة عالية إلى أبعد الحدود. وإنتاج كتلة حيوية بواسطة نبات *Thlaspi* منخفض جدا، وهناك أمل فى إمكانية تحسينها - بواسطة التقنية الحيوية - إلى النقطة التى يصبح عندها إزالة الزنك من الأراضي بهذا النبات المجمع بإفراط عمليا.

يوضح شكل ٧ - ٧ تأثير معاملات التربة المختلفة فى تخفيض التيسر البيولوجى للزنك فى تربة رسوبية ملوثة بالمعدن. وفى هذه الحالة، كان دليل الزنك

الميسر حيويًا هو ذلك المستخلص من التربة بواسطة ٥ ر. ٠ مولار محلول نترات بوتاسيوم. ولقد اشتملت المعاملات إضافة الجير، والفوسفور، وسماد الماشية، وأنتجت المعاملات تركيزات زنك مستخلص بواسطة نترات البوتاسيوم تتراوح من ٢٧ إلى ٦٣٢ ملليجرام/كجم ويتركيزات مناظرة للزنك في أنسجة فول الصويا بمدى ٣١٨ - ١١٥٢ ملليجرام/كجم. ولقد تمت معالجة مستويات الزنك الميسر حيويًا بدون تغيير تركيز الزنك الكلي في التربة.

ويجب ملاحظة أن تسمم النباتات يمكن أن يحمي السلسلة الغذائية للإنسان. وتسمى هذه الظاهرة «استخدام التربة - النبات كحاجز واقٍ»، وهي تشير إلى الحالة



شكل ٧ - ٧ العلاقة بين الزنك المستخلص من التربة بواسطة نترات البوتاسيوم وتركيز الزنك في أنسجة نباتات فول الصويا ، بعد إجراء عدة تحسينات (معالجات) لأرض رسوبية ملوثة بالزنك في محاولة لتخفيض درجة التيسر الحيوي للزنك. (Pierzynski and Schwab , 1993 .)

التي يُجرب (يختبر) فيها النبات السمية عند تركيز عنصر نادر منخفض عن التركيز الضار للإنسان الذي يستهلك النبات كغذاء. وهذا صحيح بالنسبة للحديد، Zr , Si , Sn ، وليس صحيحاً بالنسبة للزنك، Au , Ag , Ti , Al , Hg , Pb ، B , Se , Mo , Mn , Cd . وتشمل الآليات المسؤولة عن ذلك: عدم نوبان العنصر أو احتجازه القوى في التربة ؛ مما يمنع امتصاصه بواسطة النبات (مثل الكاديوم بعكس الرصاص)، وعدم حركة العنصر في أجزاء النبات غير الصالحة للأكل التي تمنع الحركة في الأجزاء الصالحة للأكل (مثل الجنور بعكس الأجزاء الخضرية)، أو تسمم النباتات الذي يحدث عند تركيزات في أجزاء النبات الصالحة للأكل أقل من التركيزات الضارة للحيوان أو الإنسان. لاحظ أن الابتلاع المباشر للتربة الملوثة أو الأتربة يتجنب حاجز التربة – النبات الواقى.

٧ - ٥ ملاحظات إضافية :

يمكن أن يكون للجرعات العالية لبعض العناصر النادرة تأثيرات مؤذية للنبات، والحيوان، والإنسان، والكائنات المائية. وبالرغم من ذلك، فتلوث الأراضى الزراعية غير واسع الانتشار. وهذا يساعد في حماية السلسلة الغذائية للإنسان ؛ حيث إن معظم الناس يستهلكون غذاءً نامياً عبر منطقة جغرافية واسعة. والوصف العام للأفراد المعرضين لأكبر خطر ناتج عن جرعات غير مقبولة للعناصر النادرة هو أنهم هؤلاء الذين يقيمون في مناطق أراضيتها ملوثة بالعناصر النادرة؛ أو معرضين إلى أتربة ... إلخ؛ وأن نسبة كبيرة من غذائهم تنمو محليا خاصة النبات، واللحوم، والألبان، وبطريقة تقريبية، فإن الحيوانات قد تكون عرضة لخطر أكبر في حالة قضاء حياتها في منطقة صغيرة. والاهتمام بالنسبة للعناصر النادرة في الأراضى يركز على الانخفاض في جودة التربة من وجهة نظر التركيزات غير المقبولة للملوثات والقيود المحددة في وظيفة التربة.

المراجع :

- Bowie, S. H. U. and Thornton, I., Ed., **Environmental Geochemistry and Health**, Kluwer Academic Publ ., Hingham, MA, 1985.
- Kim, S. J., Chang, A. C., Page, A. L., and Warneke, J. E., Relative concentrations of cadmium and zinc in tissue of selected food plants grown on sludge - treated soils, **J. Environ. Qual.**, 17, 568, 1988.
- Lexmond, T. M. and deHaan, F. A. M., in **Proc. Int. Semin Soil Environ. Fertil. Manage. Intensive Agric**, Tokyo, Soc. Sci. Soil Manure, Japan, 1977, 383.
- Minnich, M. M., McBride, M. B., and Chaney, R. L., Copper activity in soil solution. II. Relation to copper accumulation in young snapbean plants, **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 51, 573, 1987.
- Nriagu, A silent epidemic of environmental metal poisoning, **Environ. Pollution**, 50, 139, 1988.
- Page, A. L., personal communication, 1992.
- Pierzynski, G. M. and Schwab, A. P., Bioavailability of zinc, cadmium, and lead in a metal contaminated alluvial soil, **J. Environ. Qual.**, 22, 247, 1993.
- Pierzynski, G. M., **Agronomic Considerations for the Application of a Molybdenum - Rich Sewage Sludge to an Agricultural Soil**, M. S. thesis, Michigan State University, East Lansing, MI, 1985.
- Pouyat, R. V. and McDonnell, M. J., Heavy metal accumulations in forest soils along an urbanrural gradient in southeastern New York, U.S.A., **Water, Air, Soil Pollut.**, 57 - 58, 797, 1991.
- Tsuchiya, K. **Environmental Pollution and Health Effects**, in Cadmium Press, New York, 1978, 144.

مراجع مساعدة :

- Three excellent references fo trace elements in soils are: Adriano, D. C., **Trace Elements in the Terrestrial Environment**, Springer - Verlag, New York, 1986; Kabata - Pendias, A. and Pendias, H., **Trace Elements in Soils and Plants.**, CRC Press, Boca Raton, FL, 1992; and Adriano, D.C., Ed., **Biogeochemistry of Trace Metals**, CRC Press, Boca Raton, FL, 1992.

Bar - Yosef, et al., Eds., Inorganic Contaminants in the Vadose Zone, Springer - Verlag, New York, 1989.

Jacobs, L. W., Ed., Selenium in Agriculture and the Environment, Soil Science Society of America, Special Publ. no. 23, American Society of Agronomy, Madison, WI, 1989.

الفصل الثامن

المواد الكيميائية العضوية فى البيئة

٨ - ١ مقدمة:

لقد ازداد إنتاج المواد الكيميائية العضوية التخليقية مع النمو فى صناعة الإنتاج، بسرعة كبيرة منذ بداية هذا القرن ، وأدت هذه الزيادة إلى إنتاج مواد جديدة محسنة، والتي أصبحت تؤثر بدورها فى أساليب الحياة التى نعيشها. ومن المعروف أن لكل شىء سلبياته وإيجابياته، لذلك أدى الإنتاج المتزايد لهذه المركبات - (حوالى ٦٠ مليون طن متري يتم تصنيعها سنويا فى الولايات المتحدة وحدها)، واستخدام مركبات عضوية تخليقية (مثل: المبيدات، الشحوم والزيوت، المذيبات، الوقود العادى والوقود الدفعى الذى يتكون من مادة مشتعلة ومادة مؤكسدة) - إلى زيادة عدد الحوادث التى عن طريقها تدخل بالصدفة المواد الكيميائية العضوية فى بيئات الغلاف الجوى، والغلاف المائى، والتربة. ويسهم الإنسان بإدخال كميات هائلة من الكيماويات العضوية إلى البيئة كل يوم. وتعتبر منتجات البترول هى المصدر السائد للهيدروكربونات المنطلقة فى الجو بسبب أنشطة الإنسان، ويرتبط حوالى ٥٠٪ من المواد المنطلقة بانبعاثات الجازولين.

وتوجد الكيماويات العضوية أيضا فى المياه السطحية والجوفية. وقد وجد أن المياه الجوفية تحتوى على نطاق واسع من الكيماويات العضوية والتي قد تكون طبيعية أو ناتجة من الأنشطة البشرية. وفى دراسة للمياه الجوفية بتفويض من الكونجرس الأمريكى، عام ١٩٨٤، تم التعرف على حوالى ١٧٥ مادة كيميائية عضوية طبيعية أو ناتجة عن الأنشطة البشرية موجودة فى المياه. وكثير من هذه المواد العضوية الطبيعية،

مثلها في ذلك مثل الكائنات الدقيقة الموجودة في المياه السطحية والمياه الجوفية، تتفاعل مع الكلورين، الذي يشيع استخدامه في معالجة مياه الشرب، وتنتج ثلاثي هالوميثان، وهو عبارة عن مجموعة من المركبات العضوية الهالوجينية المتطايرة.

ويستخدم حوالي نصف مليون طن متري من المبيدات في الولايات المتحدة الأمريكية سنوياً، ويستخدم غالبيتها في إنتاج المحاصيل لمقاومة الأعشاب الضارة، والحشرات، والأمراض. ويستخدم أيضاً حوالي ٢٥٠٠٠ طن متري في حالات غير زراعية مثل مقاومة الآفات في المروج، وأماكن الأزهار في الحدائق، وملاعب الجولف، والغابات، وفي المجارى المائية وبمحاذاتها، ومناطق المنافع العامة، واستراحات السكة الحديد. وفي حصر للمبيدات في المياه الجوفية في الولايات المتحدة (Parsons and Witt , 1988) وجد ٦٧ مبيداً في ٢٢ ولاية (من إجمالي ٣٥ ولاية اشتركت في الحصر)، ومع ذلك، تم اكتشاف ١٧ مبيداً في ١٧ ولاية بمستويات أكبر من المستوى الصحي المنصوح به "HA" من وكالة حماية البيئة الأمريكية. وقد تراوحت نسبة المياه الجوفية التي تعدت المستوى الصحي المنصوح به لاي مبيد من صفر إلى ١٠٠٪.

ويركز هذا الفصل على الكيماويات العضوية في بيئة التربة والبيئة المائية مع تركيز خاص على المبيدات.

وتشمل المجالات التي سيتم تغطيتها مايلي:

- * التأثيرات العكسية للكيماويات العضوية على الكائنات وصحة الإنسان.
- * مصير المبيدات والكيماويات العضوية في البيئة.
- * إستراتيجيات العلاج للأراضى الملوثة والطبقات الصخرية المائية الملوثة.
- * إدارة الآفات.

٨ - ١ - ١ مصادر الكيماويات العضوية :

إن دخول الكيماويات العضوية في البيئة يمكن أن يحدث عن قصد، أو نتيجة حادث، أو عن إهمال. ويوجد عديد من المصادر التي يمكنها أن تسهم في انطلاق

الكيمائيات العضوية فى البيئة؛ فتقوم المواقع الصناعية بتصنيع، وتخزين، وتوزيع أكبر كمية من الكيمائيات العضوية، ولذلك تبلغ درجة احتمالية تلويثها للبيئة درجة عالية. ويوضح جدول ٨ - ١ المواقع الصناعية العديدة التى لها القدرة على تلويث المياه السطحية والمياه الجوفية والأراضى. وبالإضافة إلى ذلك، فهناك مصادر أخرى قد تكون سبباً لتلويث البيئة وهى إضافة المخلفات للأراضى، ونواتج عمليات تربية الأبقار، ودفن المخلفات فى الأراضى، إلخ. وبالرغم من تأثر جودة المياه الجوفية بالعمليات الطبيعية وأيضاً بأنشطة الإنسان، فإن التلوث الكيمائى العضوى يحدث بصفة عامة نتيجة الإدارة غير السليمة التى يمارسها الإنسان.

٨ - ١ - ٢ أقسام المبيدات:

تقسم المبيدات طبقاً للكائنات المستهدفة والتى صُنعت لمقاومتها (جدول ٨ - ٢). ومن الكائنات المستهدفة، الأعشاب الضارة التى تسبب أكبر خسارة اقتصادية بسبب تدخلها فى إنتاج المحاصيل. وعلى ذلك، فليس مدهشاً أن تكون مبيدات الأعشاب أكثر المبيدات استخداماً؛ فهى تتضمن أكثر من ٦٠٪ من المبيدات المستخدمة فى الولايات المتحدة كل عام. وتمثل الحشرات مشكلتنا الكبرى الثانية (بعد الأعشاب)، وهى تستهلك مبيدات حشرية بإجمالى حوالى ٢٥٪. وهناك كمية كبيرة لاستخدام غير مميز للمبيدات الحشرية فى المنازل والمباني، والتى شجعت بعض الأفراد على القول بأن هناك كمية معقولة من الأموال تفقد بدون داع، وتمثل مبيدات الفطريات القسم الثالث الأكثر استخداماً، وتبلغ حوالى ٦٪.

٨ - ٢ التأثيرات العكسية:

يُعدّ مقدار التأثيرات البيئية السلبية التى تعزى إلى سوء استخدام الكيمائيات العضوية أو تعزى إلى الحوادث أمراً مقلقاً ومُهماً؛ وذلك يرجع إلى الصعوبة فى طرق التنظيف، وكذلك بسبب النتائج المباشرة وغير المباشرة لسوء الاستعمال والحوادث على

جدول ٨ - ١ بعض الأمثلة للمواقع الصناعية التى لها إمكانية تلوث البيئة.

- | | |
|------------------------------|------------------------------------|
| - مصانع الأحماض والقلويات. | - مخلفات الصيدلية ، والروائح ، |
| - الأسبستوس. | ومستحضرات التجميل ، وصابون الزينة. |
| - المنتجات الكيميائية. | - البوليمر و التغطية . |
| - المفرقات والذخيرة. | - مخازن الخردة . |
| - أعمال الغاز وتخزينه. | - أحواص السفن . |
| - معاملة المعادن وتجهيزها. | - صهر المعادن وتنقيتها . |
| - صناعات التعدين والاستخلاص. | - معالجة مياه الصرف الصحى . |
| - إنتاج البترول. | - دباغة الجلود . |
| - تخزين البترول. | - التخلص من المخلفات . |
| - الدهانات. | - حفظ الأخشاب . |
| - تصنيع المبيدات. | - مخازن السكة الحديد. |

النظم البيئية المحيطة. ويجب توخى الحذر فى عمليات تصنيع وتخزين، ونقل، ومناولة الكيماويات العضوية. وبالتمرين الكافى والاحتياطات اللازمة، فإن كثيرا من أحداث التلوث التى تقع يمكن تفاديها.

وهناك أمثلة عديدة للتأثيرات العكسية الراجعة إلى سوء استعمال المبيدات تستحق الذكر، وهى موجودة بالتفصيل فى المراجع العلمية. ولقد ذكرت دراسات كثيرة عن احتفاظ الأراضى والنظم المائية بالمستويات المتبقية للمبيدات؛ والذى يؤدى إلى سمية المبيد للنباتات والأسماك ؛ كما يُعد التراكم الحيوى مقلقا أيضاً، لأنه بمرور الزمن تتراكم المستويات المنخفضة من المبيدات التى يتم امتصاصها أو ابتلاعها ، ويمكن أن تصل إلى مستويات سامة فى الكائن الحى نفسه ، أو فى ذريته ، أو فى كائنات أعلى فى سلسلة الغذاء ؛ فكثير من المبيدات سام للكائنات بخلاف تلك الكائنات المستهدفة التى صنعت لمقاومتها . وعند التركيزات العالية بدرجة كبيرة، فإن معظم

جدول ٨ - ٢ أقسام المبيدات المستخدمة لمكافحة الآفات غير المرغوبة.

المبيد	المكافحة
مبيدات الأعشاب	تمنع نمو الحشائش الضارة فى المحاصيل الزراعية ، والحدائق وملاعب الجولف ، .. إلخ أو المضافة مباشرة إلى الحشائش الضارة النامية.
المبيدات الحشرية	تقتل أو تقاوم الحشرات الضارة أو غير المرغوبة التى تعيش على النباتات ، أو الحيوانات ، أو فى المباني.
المبيدات الفطرية	تحمى النباتات من غزو الفطر ؛ وتستخدم عادة قبل الظروف المناسبة لنمو المرض.
مبيدات البكتريا	تكافح البكتريا التى تسبب تلف للفواكه أو تسبب قرحة للنباتات.
مبيدات الينماتودا	تحمى جنور النباتات من بیدان التربة الميكروسكوبية التى تمرض النباتات وتتغذى على جذورها.
مبيدات العنكبوت	تقام السوس والعنكبوت أو العثة التى تغزو أو تتلف المحاصيل الزراعية أو نباتات الزينة.
مبيدات القوارض	تقتل الفئران والجرذان التى تعيش فى المنازل والمباني الأخرى ، وتمنع غزو أو فقد المنتجات الغذائية فى المخازن.

المبيدات المستخدمة يمكن أن تكون سامة للإنسان، إذن أحد أهم الأمور المتعلقة بتطور واستخدام المبيدات هو تحليلها البطيء وقدرتها على التراكم فى الكائنات . ومع ذلك ، يمكن القول بكل وضوح أن المبيدات، إذا استخدمت كما ينبغى (بطريقة صحيحة)، يمكن أن تؤدي إلى زيادة فى إنتاج الغذاء أو مقاومة الحشرات التى لها تأثير مُدمر على جودة حياة الحيوان والإنسان.

٨ - ٢ - ١ أسلوب الفعل الحيوى للمبيدات:

يشير أسلوب الفعل الحيوى للمبيدات إلى الآلية التى بواسطتها يقتل أو يتفاعل المبيد مع الكائنات المستهدفة، وبالاعتماد على أساليب الفعل الحيوى لها، يمكن تقسيم المبيدات إما إلى: مبيدات تلامس أو مبيدات جهازية.

تقتل مبيدات التلامس الكائنات المستهدفة عن طريق إضعاف أو تفتيت الأغشية الخلوية، وبالتالي تؤدي إلى فقد مكونات الخلايا. وإذا أحدث مبيد التلامس تفاعلاً شديداً مع الكائن المستهدف، فقد يحقق بذلك موته السريع لا محالة.

أما المبيدات الجهازية، فيجب أن يمتصها الكائن المستهدف أو يبلعها حتى تستطيع هذه المبيدات أن تتداخل مع العمليات الفسيولوجية للكائن (مثل: انقسام الخلية، تكوين الكلورفيل، تطور النسيج) أو العمليات البنائية (مثل: التنفس، نشاط الإنزيم، البناء الضوئى). والمبيدات الجهازية، عامة، بطيئة فى فعلها وقد تتطلب أياماً، أو أسابيع، أو مدة من الزمن أطول من ذلك قبل أن يظهر أثرها.

٨ - ٢ - ٢ التأثير على الكائنات الدقيقة:

يمكن أن يكون للكيمائيات العضوية الداخلة فى البيئة تأثير مدمر على كائنات معينة، والتى قد تكون أو لا تكون الهدف المقصود للمركب العضوى، وتحتوى الأراضى والنظم المائية على العديد من الكائنات الدقيقة، ويعتبر كثير منها مفيداً ، ويؤدى حدوث تلوث لهذه الأنظمة البيئية بواسطة الكيمائيات العضوية إلى انخفاض النشاط الميكروبي. ويحدث هذا التلوث مثلاً عند استخدام تركيزات عالية من المبيدات بطريقة غير سليمة أو عندما تدخل مياه الأمطار السارية على السطح المحتوى على مبيدات إلى المياه السطحية. وبالرغم من ذلك، فقد يحدث فى بعض المواقع تقوية للنشاط الميكروبي.

والاستجابة النظرية للكائنات الدقيقة فى التربة لمبيدات الأعشاب موضحة فى شكل ٨ - ١، وهى ذات علاقة أيضاً بالكيمائيات العضوية الأخرى بجانب مبيدات

الأعشاب. وتمثل «الإضافة الأولية» في شكل ٨ - ١ الزمن الأول لاستخدام المبيد. أما «الإضافات التالية» فتشير إلى استجابة النظام البيئي إلى الإضافة المستمرة للمبيد. ويمكن تلخيص التأثيرات الأولية لمبيدات الأعشاب كما يلي:

* مبيد A - ليس له تأثير مثبط على الكائنات الدقيقة في التربة، بل له معدل تحليل سريع، ويحدث زيادة في تعداد الميكروبات.

* مبيد B - ليس له تأثير مثبط على الكائنات الدقيقة في التربة، إنما له معدل تحليل متوسط، ويحدث زيادة في تعداد الميكروبات.

* مبيد C - يقتل الكائنات الدقيقة الحساسة في التربة، ويحدث زيادة في الكائنات الدقيقة المحللة للمبيد مع الزمن، وله معدل تحليل بطيء.

* مبيد D - في البداية يقتل المبيد الكائنات الدقيقة الحساسة، وتتكون مواد ناشئة عن تمثيل المبيد وتمنع نمو كائنات معينة، تقوم الكائنات الدقيقة المقاومة بتحليل المبيد.

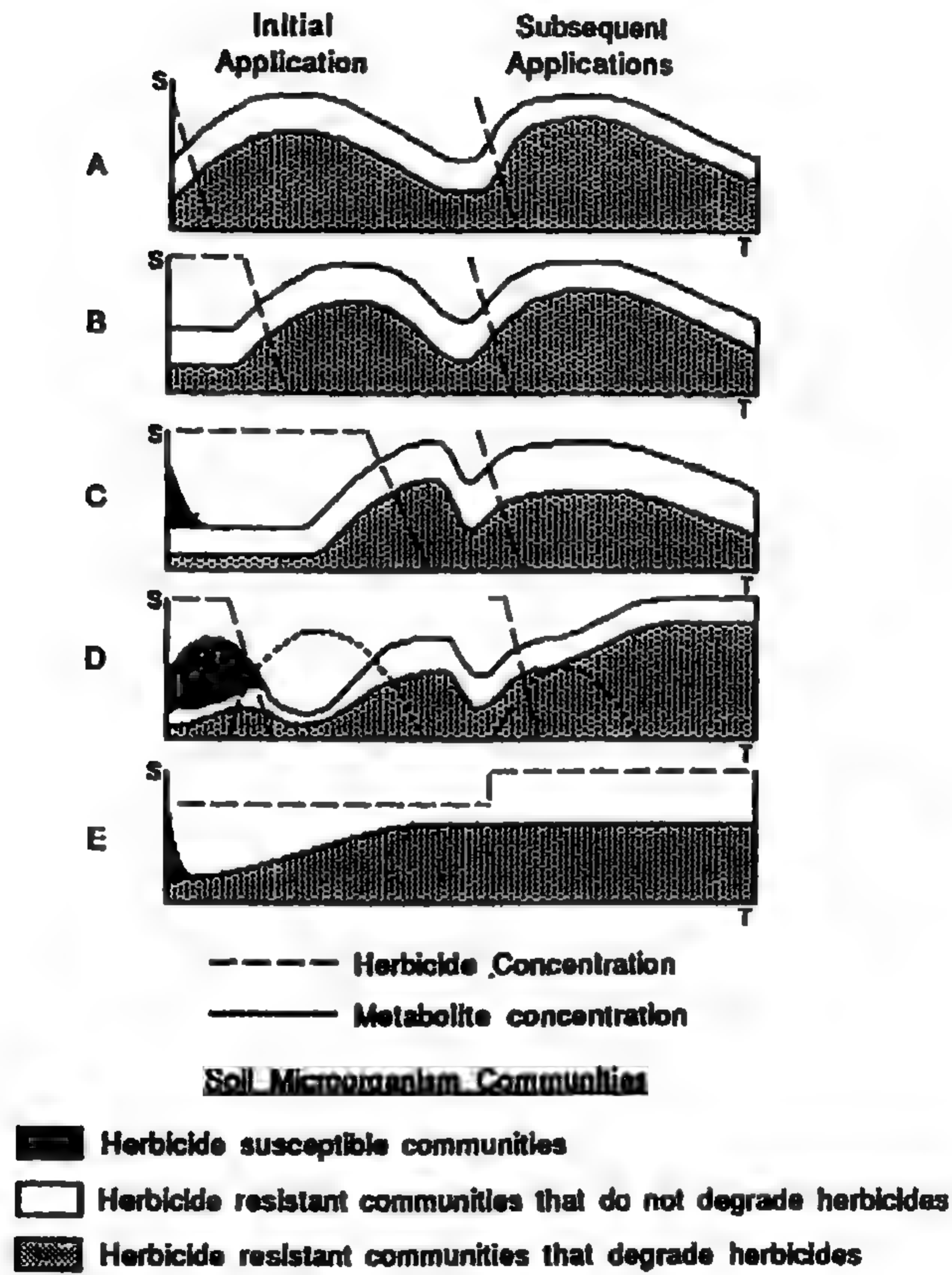
* مبيد E - يقتل الكائنات الدقيقة الحساسة، وتزداد الكائنات المقاومة ولكنها لا تحلل المبيد.

وبالإضافة التالية للمبيد ، فإن المبيدات A , B , C تتحلل بسرعة ، كما يتحلل المبيد D ونواتج تمثيله بمعدل أسرع، وتتزايد أو تتراكم تركيزات المبيد E بسبب نقص الكائنات المحللة. وما ذكرناه سابقا يعتبر مجرد أمثلة قليلة عن كيفية استجابة النظم البيئية للتربة للمدخلات من الكيماويات العضوية. وفي الحالة القصوى للتلوث فإن تعداد ونشاط الكائنات الدقيقة في التربة قد ينخفض بدرجة جوهريّة إلى الصفر.

٨ - ٢ - ٣ التأثير على النباتات :

تظهر على النباتات الحساسة للمبيدات أعراض سريعة للنمو غير المنتظم، أو فقد في الكتلة الحيوية، أو الموت. وكما نوقش في الجزء الأخير بالنسبة للكائنات الدقيقة (شكل ٨ - ١)، فإن النباتات أيضا قادرة على تأسيس مقاومة لمبيدات معينة. وقد

تكون التركيزات العالية من المبيد مطلوبة لتحقيق مستوى مماثل من المقاومة. والمبيدات الأخرى خلاف مبيدات الأعشاب، مثل مبيدات الحشرات، يمكن أن تؤثر أيضا على النباتات التي ليست الكائن المستهدف المتخصص الذي صنع المبيد من أجل مقاومته. ويبين جدول ٨ - ٣ تأثير بعض مبيدات الأعشاب ومبيدات الحشرات على النباتات غير المستهدفة الموجودة داخل بيئات التربة والمياه.



شكل ٨ - ١ الاستجابة النظرية للمجتمعات الميكروبية في التربة ومعدلات تحلل مبيدات الحشائش (A - E) عبر الزمن. يمثل المحور السيني الزمن، ويمثل المحور الرأسي تركيز المبيد. (Redrawn from Cullimore , 1971.)

جدول ٨ - ٣ تأثيرات بعض مبيدات الحشائش والمبيدات الحشرية على نباتات غير مستهدفة في بيئات الأراضى والبيئات المائية.

نوع المبيد	الموقع	التأثير
مبيدات الحشائش: حمض أروماتيك	التربة	تصل تأثيراته المتبقية إلى المحصول التالى ؛ وتتضرر المبيدات الذائبة (مثل : بكلورام) النباتات المجاورة.
	المياه	يقتل (أويثبط نمو) بعض النباتات المائية.
أميدات ، أنالينات ، نتريلات ، استرات ، كاربامات.	التربة	تصل تأثيراتها المتبقية إلى المحصول التالى.
مبيدات حشرية: أورجانوكلورين.	المياه	الانجراف السطحى ينقل مبيد الحشائش إلى أجسام المياه.
	التربة	تصل تأثيراتها المتبقية فى التربة إلى المحصول التالى ؛ ويؤثر انتقالها إلى المياه السطحية على النباتات المائية.
	المياه	تؤثر المياه الملوثة على جودة المياه للرى وبالتالى على النباتات.
أورجانو فوسفات، كربونات، بيريثرويد.	التربة	فترة بقائها قصيرة ، ولذلك فإن تأثيرها ضعيف على النباتات.
	المياه	سامة لطحالب معينة.

(Madhun and Freed, 1990.)

٨ - ٢ - ٤ صحة الإنسان:

تستخدم المبيدات لمنفعة الجنس البشرى، وذلك لمقاومة الأمراض مثل الملاريا والتيفوئيد، والقضاء على انتشار الأعشاب الضارة التى تخفض من إنتاجية المحصول، ومنع انتشار الحشرات. ومع ذلك، فإن الجرعات العالية لبعض المبيدات يمكن أن تضر

الإنسان. ولقد أوضحت البحوث العملية أن الجرعات العالية لمبيدات معينة أعطيت لبعض الحيوانات يمكن أن تسبب السرطان، كما تسبب تغيرات وراثية، وأمراضاً عصبية لدرجة تصل إلى الموت. ولقد كانت تركيزات المبيد المعطاة في هذه التجارب بصفة عامة أعلى من المستويات التي أوصى بها الصانعون فيما يتعلق بالهدف المقصود من تصنيع المبيد. وبالرغم من أن تعرض الإنسان للمبيدات قليل نسبياً (ماعدا في حالات سوء الاستعمال أو الحوادث)، إلا أنه ينبغي أن نتوخى الحذر باستمرار من التأثيرات الخطيرة للمبيدات. وعلى ذلك، فإنه من الضروري لأي شخص يعمل في حقل بالمبيدات أن يتبع التعليمات أو التوجيهات المعطاة له، ويأخذ جميع الاحتياطات من أجل حماية نفسه، وحماية الآخرين، وحماية بيئتنا من التلوث.

٨ - ٢ - ٥ تلوث المياه الجوفية:

تستخدم المياه الجوفية لأغراض عديدة؛ فمياه الشرب لأكثر من ٥٠٪ من سكان الولايات المتحدة ولحوالي ٩٧٪ من سكان المناطق الريفية تأتي من مصادر مياه جوفية، كما يتم الحصول على حوالي ٤٠٪ من مياه الري الزراعي أيضاً من مصادر مياه جوفية. ولقد قامت مناقشات كثيرة غاية في الأهمية فيما يتعلق بمسألة جودة مياه الري. ولقد اقترحت عدة تعريفات لتحديد مانعنيه بتلوث المياه الجوفية، غير أن تعريف Miller (عام ١٩٨٠) الذي يقول: «تلوث المياه الجوفية هو تدهور الجودة الطبيعية للمياه الجوفية نتيجة لفاعليات الإنسان»، - وهذا التعريف - يضع اللوم كاملاً ويكل وضوح على الإنسان وسوء استخدامه للبيئة. ويلقى موضوع تلوث المياه الجوفية اهتماماً أكبر في الوقت الحالي، ومع ذلك، فإن تقدير حجم المشكلة سيكون صعباً للغاية ما لم يتم تحديد أو تعريف مصادر الملوثات، ويتم منعها أيضاً من إحداث تلوث للبيئة. ولقد قام مكتب تقويم التقنية بتعريف ٣٣ مصدراً رئيسياً تسبب تلوثاً للمياه الجوفية، وقد جمّعهم في ستة أقسام. ويبين جدول ٨ - ٤ الأقسام الستة لمصادر الملوثات التي تم تجميعها على أساس الطبيعة العامة لنشاط الملوث.

٨ - ٣ التنبؤ بمصير المبيدات والكيماويات العضوية الأخرى:

تعتبر التنبؤات المعول عليها (الموثوق بها) لحركة ومصير الكيماويات العضوية في البيئة (شكل ٨ - ٢) مهمة لتقدير تأثير الكيماويات العضوية على بيئتنا. وفيما يخص المبيدات، فإن استخدامها السليم يتطلب معرفة العوامل التي يمكن أن تؤثر في حركتها ومصيرها، وكذلك أيضا يتطلب معرفة العوامل التي تؤثر في سلامة الإنسان، وجودة البيئة، وفعالية المبيد. ويمكن أن تتأثر النظم البيئية المحيطة إذا كانت الظروف مساعدة لانجراف المبيد، أو الغسيل، أو سريان ماء المطر على السطح. ويحدد جدول ٨ - ٥ بعض العوامل المرتبطة باستخدام المبيد والتي يمكن أن تؤثر على الجودة البيئية وفعالية المبيد.

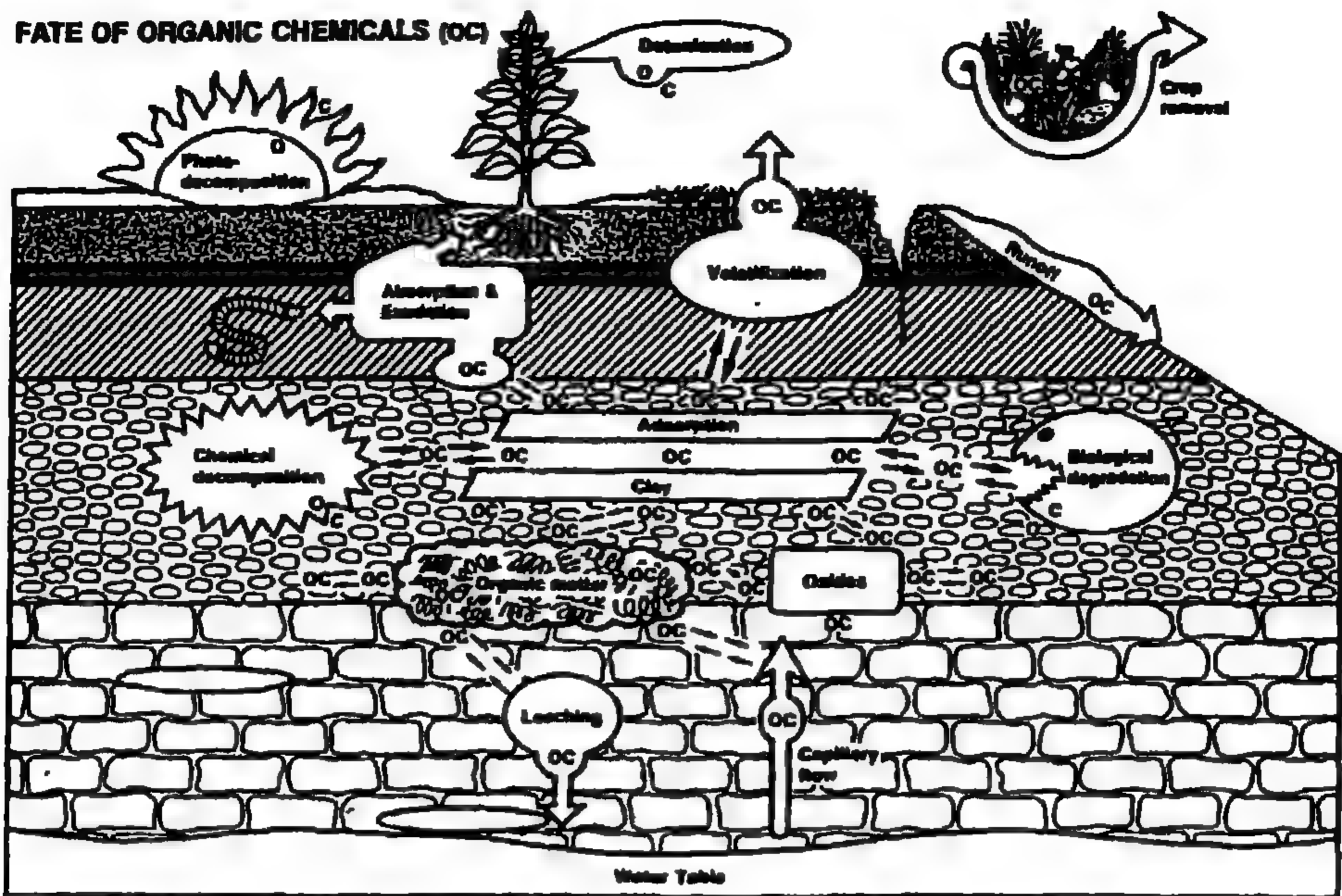
ويتم تقدير حركة أو انتقال الكيماويات العضوية، وتحللها النهائي بعد دخولها في بيئة التربة بواسطة عمليات كيميائية، وفيزيائية، وبيولوجية. ولكل مركب كيميائي عضوي تركيبه الجزيئي الخاص الذي يقدر - على الأقل جزئياً - الدرجة التي إليها سوف يتفاعل في البيئة. فتحتوي بعض الكيماويات العضوية مواقع لمجاميع دالة لها شحنة، وهي تشجع فرصة ادمصاصها في الأراضي؛ فالكيماويات العضوية الموجبة الشحنة تدمص للمواقع السالبة الشحنة على معادن الطين والمادة العضوية في التربة (راجع الفصل الثاني لمزيد من المعلومات عن خواص التربة). وبعض الكيماويات العضوية قد تبقى في الأراضي، لفترات طويلة من الزمن عندما تتوقف التحولات الكيميائية والميكروبية بسبب سمية المادة الكيميائية العضوية تحت ظروف بيئية معينة.

ويبين جدول ٨ - ٦ عمليات التحول والتحلل المتحكم في حركة ومصير الكيماويات العضوية. ويعتبر الانجراف الفيزيائي مهماً بصفة عامة أثناء إضافة المبيدات، ولكنه يمكن أن يحدث أيضا في أوقات الرياح الشديدة أو خلال العواصف الممطرة حيث تنجرف المبيدات بعيداً عن المنطقة النباتية. والقطيرات الصغيرة من المبيدات لها قدرة أكبر لكي تُنقل بواسطة فعل الرياح مقارنة بالقطيرات الكبيرة. وتوجد عمليات أخرى ترتبط بما يحدث للكيماويات العضوية عند دخولها في بيئة التربة، وسوف نناقش في الأقسام التالية الكثير من هذه العمليات والخواص الأخرى للكيماويات العضوية التي تؤثر في مصيرها وانتقالها.

جدول ٨ - ٤ مصادر الكيماويات العضوية التي يحتمل أن تلوث المياه الجوفية والأراضي.

الفئة	المصدر	الوصف
١	التصريف المقصود	خزانات الصرف الصحي والمجاري، آبار الحقن (مخلفات ضارة). الإضافة للأراضي (الحمأة ، مياه المجاري، وهي مخلفات ضارة).
٢	الاحتواء	مدافن ومقالب النفايات. تجمع المياه أو السوائل في خزانات سطحية. بقايا المخلفات وأكوامها ومخارقتها. أماكن دفن الحيوانات. خزانات المياه الجوفية. حاويات التخزين. خطوط الأنابيب.
٣	النقل	السكة الحديد والشاحنات. إضافة المبيدات.
٤	التصريف من أنشطة موجهة.	عمليات تغذية الحيوانات. المياه السارية من المناطق الحضرية. الملوثات الجوية.
٥	انسياب مُحَدَث	آبار إنتاج (الزيت والغاز). الحفر في عمليات الإنشاءات.
٦	طبيعية	تداخلات المياه الجوفية مع المياه السطحية. الأراضي الرطبة. رواسب تحت الأرض (الفحم ، الزيت ، الغاز).

(Office of Technology Assessment,1984.)



شكل ٨ - ٢ مصير الكيماويات العضوية (OC) ، والعمليات الخاصة بها. عمليات التحول والتحلل مرسومة في الشكل، عمليات التحول لها رسومات OC سليمة، بينما عمليات التحلل لها OC منفصلة. (Weber and Miller, 1989.)

٨ - ٣ - ١ امتصاص النبات:

تُمتص الكيماويات العضوية، مثل مبيدات الأعشاب، بواسطة النباتات إما عن طريق الجذور أو الأجزاء الخضرية فوق سطح الأرض. ويعتمد الامتصاص على نوع المركب الكيميائي العضوي وعلى أصناف النبات. والبنور قادرة أيضا على ادمصاص الكيماويات العضوية، التي يمكن أن تحدث إما قبل أو بعد إنبات البذرة. وادمصاص الكيماويات العضوية على السطح الخارجي للبنور يزيد فرصة الامتصاص، والتي يمكن أن تحدث بواسطة عمليات غير بنائية عندما تكون البنور متشربة الماء أو من خلال عمليات الانتشار. والعوامل المؤثرة في امتصاص البذرة للكيماويات العضوية لها

جدول ٨ - ٥ تأثير قرارات إدارة المبيدات على كل من الجودة البيئية وفعالية مكافحة الآفات.

إدارة المبيد	التأثيرات	
	الجودة البيئية	مكافحة الآفة
نوع المبيد.	ادمصاص عالي - غسيل منخفض تحلل سريع - لا ينتقل. سمية - تحدد التركيز الأقصى المسموح به في المياه.	تتوقف فعالية المكافحة على المبيد نفسه.
نوع الإضافة.	الدمج في التربة - فرصة أكبر لتلوث المياه الجوفية.	قرب المبيد من الكاذ المستهدف يعزز سمية المبيد للكائن المستهدف.
تقنية الرش.	الإضافة إلى سطح الأرض - تقلل خطر انجراف المبيد. القطيرات الكبيرة - تقلل الانجراف الفيزيائي.	ظروف التربة الرطبة قد تعوق الزمن الأمثل للإضافة. قد تقلل أيضاً الكفاءة.
توقيت الإضافة.	قريب من وقت سقوط الأمطار أو وقت الري - يزيد فرصة تلوث المياه الجوفية.	تتوقف فعالية المبيد على التوقيت المناسب.
برنامج الري.	الري المخطط - يقلل احتمال تلوث المياه السطحية والمياه الجوفية	التغيرات في رطوبة التربة قد تؤثر في الآفة.
ممارسات الحرث.	الحرث البسيط - يقلل سريان مياه الأمطار ، يتطلب مستويات زائدة من المبيد ، زيادة خطر غسيل المبيد أو انجرافه	تزداد كثافة الآفة وهذا يتطلب كميات إضافية من المبيد.
طرق الإضافة السليمة.	سقوط المبيد أو سوء استخدامه - يزيد تلوث المياه والأراضي.	ليس له تأثير سلبي على مكافحة الآفة.

(Shoemaker, 1989.)

جدول ٨ - ٦ حركة ومصير الكيماويات العضوية في البيئة، مع إشارة خاصة إلى المبيدات .

العملية	النتيجة	العوامل
عمليات التحول أو الانتقال (وهي التي تنتقل فيها الكيماويات العضوية إلى مكان جديد بدون تغيير في تركيبها الكيميائي):		
الانجراف الفيزيائي.	حركة الكيماويات العضوية بسبب فعل الرياح.	سرعة الرياح ، حجم القطرات ، المسافة.
التطاير.	فقد المركب العضوي بسبب التبخر من التربة والنبات أو من النظم المائية.	ضغط البخار ، سرعة الرياح ، درجة الحرارة.
الادمصاص.	إزالة المركب العضوي عن طريق تفاعله مع التربة ، والنبات، والرواسب.	نسبة الطين، نسبة المادة العضوية، نوع معادن الطين، الرطوبة.
الامتصاص.	امتصاص المركب العضوي بواسطة جذور النبات أو الابتلاع بواسطة الحيوانات.	الانتقال عبر أغشية الخلية، زمن التلامس، الحساسية.
الغسيل.	انتقال المركب العضوي في الاتجاه الجانبي أو لأسفل خلال التربة.	نسبة الرطوبة ، المسام الكبيرة ، قوام التربة ، الطين ، نسبة المادة العضوية.
الإزالة.	انتقال المركب العضوي بفعل المياه أو الرياح.	سقوط المطر، سرعة الريح، حجم الطين، حبيبات المادة العضوية وما عليها من كيماويات عضوية.
عمليات التحلل (وهي التي تُغيّر التركيب الكيميائي):		
كيميائية - ضوئية.	تكسر الكيماويات العضوية بسبب ادمصاص أشعة الشمس (فوق البنفسجية).	التركيب الكيميائي للمركب، كثافة وطول مدة أشعة الشمس، التعرض.
ميكروبية.	تحلل بفعل الكائنات الدقيقة (راجع الفصل الثاني - عن الكائنات الدقيقة في التربة).	عوامل بيئية (pH، الرطوبة، درجة الحرارة)، حالة العنصر الغذائي، نسبة المادة العضوية.

كيمائية	تغير المركب العضوى بفعل عمليات كيميائية مثل التحلل المائى وتفاعلات التأكسد والاختزال.	pH المرتفع والمنخفض، نفس عوامل التحلل الميكروبي.
الايض	تحولات كيميائية للمركب العضوي بعد امتصاصه بواسطة النباتات أو الحيوانات.	القابلية للامتصاص، عمليات البناء والهدم للكائن، التفاعلات مع الكائن.

(Marathon - Agricultural and Environmental consulting, Video Cassettes - Fate of Pesticides in Environment, 1992.)

علاقة بخواص المركب الكيميائى العضوى (التركيز، البناء، الذوبان، معدل الانتشار)، والتربة (درجة الحرارة، ورقم الحموضة)، والبذرة (الحجم، الخواص، غلاف البذرة).

وتستطيع النباتات أيضاً امتصاص الكيماويات العضوية عن طريق الأجزاء الخضرية فوق سطح الأرض، التى تشمل السيقان، والبراعم، والأوراق. ولوحظ أن النباتات الخشبية المعمرة والغضة تمتص مبيدات الأعشاب عن طريق سيقانها. وتعتبر البراعم هى الهدف الأساسى لتلامس مبيدات الأعشاب ؛ حيث إن دخول مبيد الأعشاب فى البرعم يسبب بصفة عامة موت النبات، وتمتص الأوراق الكيماويات العضوية من كل من سطح الورقة العلوى والسفلى، إلا أن الامتصاص يكون غالباً أسرع خلال السطوح السفلية ؛ لأن الكيوتيكول لها رقيق بدرجة أكبر ، وتدخل الكيماويات العضوية غير القطبية إلى داخل الأوراق بسهولة وبسرعة أكثر من الكيماويات العضوية القطبية ، ويعتقد أن آلية الدخول بالنسبة للمحاليل المائية والزيتية تتبع مسارات مختلفة.

وتمتص كثير من الكيماويات العضوية بسرعة وبسهولة عن طريق الجذور والأجزاء الخضرية وتنقل خلال النباتات داخل نظامين - السمبلاست (النسيج الحى)، والأبويلاست (النسيج غير الحى). وتتعرض الكيماويات العضوية الداخلة فى نظام السمبلاست (الحى) لإنزيمات كثيرة قادرة على التفاعل مع الكيماويات العضوية. ومن ناحية ثانية، فإن السمبلاست مغلف بواسطة الأبويلاست ، وهذا يمنع التلامس المباشر

بين الكيماويات العضوية والنسيج الحى للسنبلاست. ويتكون نظام الأبويلاست (غير الحى) من جدران الخلايا والزيلم (نسيج الخشب) اللذين يكونان قصبة متصلة مترابطة خلال النبات. ويمكن للمبيدات السامة والكيماويات العضوية الأخرى أن تنتقل من خلال الأبويلاست لمسافات قصيرة وطويلة فى داخل النباتات.

وفى اللحظة التى يتم فيها امتصاص الكيماويات العضوية بواسطة النباتات تحدث تفاعلات عديدة بموجبها يتحول المركب الكيماوى العضوى. فعلى سبيل المثال، النباتات التى تستطيع امتصاص مبيدات الأعشاب قادرة على أن تُحوّل (أى تقوم بتمثيلها بنائياً) هذه المبيدات إلى مستويات غير سامة للنبات بواسطة واحد أو أكثر من التفاعلات التالية:

التأكسد – الاختزال، أو التحلل المائى، أو تكوين هيدروكسيلات، أو نزع الهالوجين، أو نزع الألكيل، أو الاقتران، أو الأكسدة فى الوضع بيتا.

وكل واحد من هذه التفاعلات يُغيّر المبيد من الناحية البنائية لدرجة أن طبيعته الكيماوية تصبح مختلفة. وبالرغم أن النباتات مشابهة للكائنات الدقيقة، والحشرات، والثدييات فى مقدرتها على تمثيل الكيماويات العضوية، فإن معدلات التمثيل (التحول) فى النبات تعدّ بطيئة بصفة عامة.

٨ - ٣ - ٢ الذويان :

إن ذويان المركب العضوى مهم بالنسبة لمصيره وحركته ؛ لأن المركبات العالية الذويان تميل إلى أن تتوزع داخل بيئة التربة وبيئة المحيط المائى ، ويتم تقدير الذويان المائى للكيماويات العضوية على أساس الكمية الكلية التى تنوب فى الماء النقي عند درجة حرارة معينة ، وعندما يتم تجاوز (تعدّي) الذويان المائى للمركب العضوى، فإن الطور الصلب للمركب العضوى سوف يوجد بالإضافة إلى المحلول المائى، وعادة يقع ذويان الكيماويات العضوية الشائعة فى المدى ١ — ١٠٠٠٠٠ مجم/ كجم (وزن

زيادة عادة في نوبان كثير من الكيماويات العضوية الفقيرة النوبان في الماء مع المستويات الأعلى للكربون العضوى الذائب. وأصبح واضحاً أنه يوجد تفاعل بين الكربون العضوى الذائب والكيماويات العضوية مما يشجع نوبانها.

وتستخدم طرق متنوعة لتقدير نوبان الكيماويات العضوية ، وتوجد طريقتان تستخدمان بكثرة لذلك الغرض، وتعتمدان على: (١) التركيب الكيميائى، (٢) معامل التجزئة: أوكتانول / ماء. ولقد طورت الطريقة السابقة لتقدير النوبان المائى لمجموعات خاصة من المركبات مثل الهيدروكربونات الأليفاتية والأروماتية. كما توجد كمية كبيرة من النتائج الميسرة عن العلاقة بين النوبان المائى ومعامل التجزئة: أوكتانول / ماء. ويتم تقدير معاملات التجزئة: أوكتانول / ماء (K_{ow}) بواسطة المعادلة التالية:

$$K_{ow} = \frac{\text{تركيز المركب العضوى فى الأوكتانول (مجم)}}{\text{تركيز المركب العضوى فى الماء (مجم)}} \dots (٨ - ١)$$

والعلاقة بين النوبان فى الماء، K_{ow} موضحة فى شكل ٨ - ٣. وكما يتضح من الشكل، توجد علاقة عكسية بين النوبان فى الماء، K_{ow} .

٨ - ٣ - ٣ نصف فترة الحياة:

تشير نصف فترة الحياة ($T_{1/2}$) لآى تفاعل إلى كمية الزمن اللازمة لآى يتحول نصف المادة المتفاعلة إلى ناتج تفاعل أو تشير إلى الزمن اللازم لآى يصبح تركيز المادة المتفاعلة نصف تركيزها الابتدائى. وبالنسبة للكيماويات العضوية، فإن أنصاف فترة الحياة يمكن حسابها لأنواع مختلفة من التفاعلات مثل: التطاير، والتحلل الضوئى (التحلل بواسطة ضوء الشمس)، واحتمال الغسيل (خواص الادمصاص - الانطلاق)، والتحلل (الكيمائى والميكروبي). وتعتبر قيم أنصاف فترة الحياة غاية فى الأهمية لفهم التأثير البيئى المحتمل لمركب عضوى معين. فعلى سبيل المثال، لو وقع ملوث عضوى على السمية فى بحيرة بسبب حادث، وكان معدل التحلل الضوئى سريعاً (نصف فترة الحياة صغيرة)، فإن النتائج ستكون فى أثنى مستوى لو كانت نواتج التحلل الضوئى

غير ضارة. ولكن، إذا وقع ملوث متوسط السمية، ومعدل تحلله الضوئي بطيء جداً (نصف فترة الحياة كبيرة)، فإن التأثير البيئي حينئذ سيكون كبيراً. ويمكن استخدام هذه الطريقة أيضاً كمثال لتقدير التأثيرات البيئية المرتبطة بالتطهير، واحتمال الغسيل، وخواص التحلل للكيماويات العضوية المختلفة.

ويوضح شكل ٨ - ٤ مدى قيم أنصاف فترة الحياة للتحلل المائي لمجموعات عديدة من الكيماويات العضوية. وتشمل تفاعلات التحلل المائي التحولات الكيميائية بين المركب العضوي والماء، والذي ينتج عنه كسر رابطة واحدة، ويتكون في نفس الوقت رابطة كربون - أكسجين جديدة مثل:



ويعتبر التحلل المائي أحد أهم التفاعلات المهمة التي تقدر مصير الكيماويات العضوية في البيئات المائية. ولا يحدث تحلل مائي لجميع الكيماويات العضوية؛ لأن كثيراً منها لا تمتلك مجاميع فعالة حساسة لتفاعلات التحلل المائي (جدول ٨ - ٧). وتعتمد تفاعلات التحلل المائي أيضاً وبصفة عامة على رقم الحموضة pH.

٨ - ٣ - ٤ التطاير:

يعتبر تطاير الكيماويات العضوية الطبيعية والمخلقة هو المسئول عن انتقال الكيماويات العضوية من البيئة المائية والتربة إلى الغلاف الجوي. وتعتبر المعلومات عن معدل تطاير هذه الكيماويات العضوية مهمة من أجل فهم استمرار هذه المركبات في البيئة.

وتعتمد العوامل التي تؤثر في تطاير الملوثات من المياه على الخواص الكيميائية والفيزيائية للمركب العضوي (مثل: الذوبان والضغط البخاري)، والتفاعلات مع المواد المعلقة والرواسب، والخواص الفيزيائية لجسم المياه (العمق، السرعة، الهيجان أو الاضطراب)، وخواص السطح البيني للغلاف المائي. ويختلف معدل التطاير، معبراً عنه كنصف فترة الحياة، من ساعات إلى سنوات أو أكثر. فأنصاف فترة الحياة لتطاير

جدول ٨ - ٧ أمثلة للمجاميع العضوية الفعالة (الوظيفية) المقاومة أو الحساسة للتحلل المائي.

المقاومة	الحساسية
ألكان ، ألكين ، ألكاين.	- هاليدات ألكيل.
بنزين ، ثنائي الفينيل.	- أمبيدات.
هيدروكربون عديد الأرومات.	- أمينات.
أرومات هالوجينية ، PCBs.	- كاربامات.
داي الدين ، ألدين ، مبيدات	- استرات حامض كربو كسيليك.
الهيدروكربون الهالوجينية.	- إيبوكسيدات.
أمينات أروماتية.	- نتريلات.
كحولات.	- استرات حمض الفوسفوريك.
جليكول.	- استرات حمض فوسفونيك.
إثيرات.	- استرات حمض سلفونيك.
ألهيدات.	- استرات حمض كبرتيك.
كيتونات.	
أحماض كربو كسيليك.	

(Harris , 1982 a.)

مركب ثلاثي كلورو إيثيلين (TCE) والمبيد داي إالدين من الماء قُدرت على أنها من ٣ - ٥ ساعات لـ TCE وحوالي سنة للداي إالدين ، وبين جدول ٨ - ٨ بعض الكيماويات العضوية الإضافية وتطايرها المحتمل من الماء.

وتشمل العوامل المؤثرة على تطاير الكيماويات العضوية من الأراضي الخواص الفيزيوكيميائية الجوهرية لهذه المركبات (مثل: الضغط البخاري، الذوبان، تركيب وطبيعة المجموعات الفعالة، خواص الامصاص - الانطلاق)، والتركيز، وخواص التربة (محتوى التربة من الرطوبة، المسامية، الكثافة، محتواها من المادة العضوية والطين)، وعوامل بيئية (درجة الحرارة، الرطوبة، سرعة الرياح). وتعتبر الخطوة الأولى في تطاير الكيماويات العضوية من الأراضي هي قدرتها على التطاير، والتي تمثل التغير من الحالة الصلبة أو السائلة إلى الحالة الغازية. وبعد التبخير، يتحرك البخار خلال التربة وينتشر في الغلاف الجوي بواسطة الانتشار أو الاضطراب (الدوامات). وأظهرت القياسات العملية والحقلية لأنصاف فترة حياة التطاير لمبيدات عديدة أنها تتراوح من ٧.٠ - ٣٠ أيام لمبيد اللندان إلى ٤٢، ٤٥ يوم لمبيد د.د.ت، مبيد الأترازين على الترتيب.

٨ - ٣ - ٥ التحلل الضوئي:

تعتبر التفاعلات الكيميائية الضوئية المشتملة ضوء الشمس في غاية الأهمية فيما يتعلق بتقدير مصير الملوثات في البيئات المائية، وقد تلعب هذه التفاعلات أيضاً دوراً في تحلل الكيماويات العضوية عند سطح التربة. وفي البيئات المائية، يحدث التحلل المائي عن طريق عمليات مباشرة أو غير مباشرة. وفي التحلل الضوئي المباشر، فإن ضوء الشمس يمتص مباشرة بواسطة المركب العضوي، وينتج عن ذلك تحول كيميائي. ويعتمد معدل التحلل الضوئي المباشر على شدة ضوء الشمس وخصائص الطيف المتداخل للإشعاع الشمسي والمركب العضوي. أما بالنسبة للتحلل الضوئي غير المباشر، فتوجد مواد أخرى مثل الكريون العضوي الذائب، أو معادن الطين، أو عناصر غير عضوية تمتص ضوء الشمس، وهي إما تستهل سلسلة تفاعلات تؤدي في نهايتها إلى تحول المركب العضوي أو تنقل طاقة الإثارة إلى المركب العضوي.

ويمتص أوزون الغلاف الجوي الإشعاع الشمسي الذي طول موجته أقل من ٢٩٠ نانومتر nm. وعلى ذلك، فالتحلل الضوئي المباشر بواسطة ضوء الشمس

جدول ٨ - ٨ أمثلة لبعض الكيماويات العضوية وقدرتها على التطاير من الماء.

قدرة التطاير	المركب الكيميائي العضوي	نصف فترة الحياة ($t_{1/2}$)
منخفضة.	داي إالدين	٣٢٧ يوم
	٣ برومو- ١ - برويانول	٣٩٠ يوم
متوسطة.	بيننا نثرين	٣١ ساعة
	بنتا كلورا فينول	١٧ يوم
	د . د . ت	٤٥ ساعة
	ألدين	٦٨ ساعة
	لندان	١١٥ يوم
مرتفعة.	بنزين	٢٧ ساعة
	تولوين	٢٩ ساعة
	أو - زيلين	٣٢ ساعة
	كربون تترا كلوريد	٣٧ ساعة
	ثنائي الفينيل	٤٣ ساعة
	تراي كلورو إثيلين	٣٤ ساعة

(Thomas , 1982.)

لا يحدث في حالة إذا كان المركب العضوي محل السؤال لا يمتص إشعاع بطول موجي أعلى من ٢٩٠ نانومتر. وتقدر شدة ضوء الشمس التي تصل سطح الأرض عن طريق سمك الغلاف الجوي وزاوية سقوط الإشعاع ، وهي تعتمد على خط العرض، والفصل من السنة، والوقت من اليوم ، وتكون شدة ضوء الشمس أكبر مايمكن في الصيف وأقل مايمكن في الشتاء.

وتتراوح أنصاف فترة الحياة للكيماويات العضوية التي يحدث لها تحلل ضوئي في البيئات المائية بصفة عامة من ساعات إلى شهور ، ويوضح جدول ٨ - ٩ قيم أنصاف فترة حياة التحلل الضوئي للمبيدات، والهيدروكربونات الأروماتية عديدة الحلقات، وبعض المركبات المتنوعة. وعلى خلاف البيئات المائية، فإن تفاعلات التحلل الضوئي في الأراضي من الصعب تقديرها؛ وذلك بسبب الطبيعة المختلفة للأراضي والنقص في اختراق الضوء فيها. ومبدئياً، يُعد التحلل الضوئي ظاهرة سطحية، وهو يتوقف نهائياً إذا اندمج المركب الكيميائي في التربة.

٨ - ٣ - ٦ الادمصاص - الانطلاق:

يعتبر سلوك الادمصاص - الانطلاق للكيماويات العضوية أهم عملية مؤثرة في الملوثات العضوية. ويعتبر فهم التفاعلات التي تحدث بين الأراضي أو الرواسب والملوث العضوي عند دخوله التربة والبيئة المائية مهماً في تقدير سلوك الملوث، ومن ثم في تقدير حركته ومصيره في البيئة. وتتطلب النماذج الرياضية التي تتنبأ بمصير الملوث وانتقاله معلومات موثقة عن سلوك الملوثات بخصوص الادمصاص - الانطلاق تحت ظروف مختلفة. ويحدث ادمصاص الكيماويات العضوية بواسطة الطين والمادة العضوية عن طريق واحد أو أكثر من التفاعلات التالية: قوى فان ديرفالس، و/ أو روابط هيدروجينية، تفاعل ثنائي القطبية - ثنائي القطبية، التبادل الأيوني، تكوين روابط تساهمية، تكوين بروتونات، تبادل روابط شبه تساهمية، تكوين قناطر كاتيونية، تكوين قناطر مائية، و/ أو تجزئ (فصل) للمادة الكارهة للماء.

جدول ٨ - ٩ أنصاف فترة الحياة لكيماويات عضوية عديدة تقوم بعمل تحليل ضوئي مباشر.

القسم	المركب الكيميائي العضوي	نصف فترة الحياة (t 1/2)
مبيدات	تراي فلورالين ملاثيون كارباميدل سيفين ميثوزيكور ٢, ٤ - د ، ميثيل استر ميركس	١ ~ ساعة ١٥ ساعة ٥٠ ساعة ١١ يوم ٢٩ يوم ٦٢ يوم ١ سنة
هيدروكربون أروماتي عديد الحلقات	بيرين بنز (a) أناثرا سين فيثا نثرين فلورانثين نافثالين	٧٠ ساعة ٣٣ ساعة ٨٤ ساعة ٢١ ساعة ٧٠ ساعة
متنوع	بنز (f) كوينولين كوينولين P - كرينول	١ ساعة ٥ - ٢١ يوم ٣٥ يوم

(Harris , 1982 b.)

وقد وجد أن ادمصاص كثير من الملوثات بواسطة الأراضى والرواسب وسيلة فعالة لتخفيض أو تقليل حركتها. ويمكن أن يؤثر أيضا ادمصاص على النشاط الحيوى، والاستمرار، والقابلية للتحلل البيولوجى، والقابلية للفسيل، والتطاير للكيماويات العضوية، كما أن نوع وطبيعة المجاميع الفعالة على المركب العضوى تُحدّد بدرجة كبيرة قدرته على أن يدمص. وفى الأراضى، تعتبر سطوح الطين وأكاسيد الفلزات والمادة العضوية هى المواد السائدة المسئولة عن ادمصاص الملوثات العضوية، كما يمكن أن تعمل سطوح الطين كمصدر لمواقع ادمصاص لأحد الملوثات، وهذا بالتالى يمكن أن يؤثر على ادمصاص باقى الملوثات. وقد ناقشنا فى القسم ٨ - ٤ - ٤ مثلاً يوضح طريقة احتواء الملوثات.

وتم عمل نماذج رياضية للتعبير عن ادمصاص الكيماويات العضوية بواسطة الأراضى باستخدام معادلات ادمصاص. ويتم وصف بيانات ادمصاص فى الغالب باستخدام إما معادلة فرنديتش أو معادلة لانجمير، بنفس طريقة استخدامها بالنسبة للفوسفور فى الفصل الخامس.

معادلة فرنديتش:

$$x/m = KC^{1/n} \quad (8-2)$$

حيث:

x/m = كتلة المركب العضوى المدمص لكل وحدة وزن من التربة.

n, k = ثوابت تجريبية.

C = تركيز المركب الكيمايى عند الاتزان.

وتعتبر قيمة K مقياس لدرجة ادمصاص. ويمكن الحصول على الصورة الخطية لمعادلة فرنديتش عن طريق التحويل اللوغاريتمى كما يلى:

$$\log (x/m) = \log K + 1/n \log C \quad (8-3)$$

وإن وضع $\log (x/m)$ ضد $\log C$ يجب أن يعطى خطاً مستقيماً له ميل $1/n$ ، قاطع $\log K$.

معادلة لانجمير:

$$x/m = Kb C / (1 + K C) \quad (8-4)$$

حيث:

$C, x/m$ = نفس تعريفها سابقا .

K = ثابت الادمصاص وهو يرتبط بقوة الارتباط.

b = الكمية العظمى من المركب العضوى التى يمكن أن تدمص بواسطة التربة.

الصورة الخطية لمعادلة لا نجمير هي:

$$C / (x/m) = 1/Kb + C/b \quad (8-5)$$

إذا كان رسم $C / x/m$ فى مقابل C يعطى خطأ مستقيماً ، إذن بيانات الادمصاص تطابق معادلة لا نجمير، ويمكن حساب b من الميل، K من القاطع. وتمثل المعادلتان ٨ - ٢، ٨ - ٤ الصورة العامة لكل من معادلتى فرنديلش، لا نجمير على الترتيب. والمعادلتان ٥ - ٨، ٥ - ٢ هما نفس المعادلتين هنا فيما عدا أن المتغيرات قد كتبت بالتحديد لعنصر الفوسفور.

وبالنسبة لكثير من الكيماويات العضوية، وبالأخص الأنواع غير القطبية، يمكن حساب ثابت الادمصاص وهو ثابت نسبياً، ولا يعتمد على نوع التربة، ولكنه خاص ومميز للمركب العضوى المستخدم ، ويتم حساب الثابت باستخدام ثابت فرنديلش K ونسبة الكربون العضوى فى التربة (%OC).

$$K_{oc} = (K / \% OC) \times 100 \quad (8-6)$$

الثابت K_{oc} فى جوهره هو المعامل الذى يصف توزيع المركب العضوى بين الطور المائى وطور المادة العضوية فى التربة. وحيث أنه ثابت نسبياً، فإن قيم K_{oc} تستخدم فى الغالب للتنبؤ بقيم K للأراضى المعروفة فيها نسبة الكربون العضوى. وقيمة K تحدد بالتالى توزيع الملوث بين التربة والماء.

٨ - ٣ - ٧ التحولات الحيوية وغير الحيوية:

تُعد كل من التفاعلات الحيوية وغير الحيوية، بمفردها أو معاً، هى المسئولة عن تحولات الكيماويات العضوية فى التربة والبيئة المائية. وتحت ظروف معينة تسود

التفاعلات غير الحيوية، بينما تحت ظروف أخرى تسود التفاعلات الحيوية. ويحدث تحلل الكيماويات العضوية غالباً بواسطة عمليات حيوية، ومع ذلك، فإن التفاعلات غير الحيوية قد تحدث في نفس الوقت. وكثير من تحولات المركب العضوي تحدث بواسطة الميكروبات، ولكن التفاعل الحقيقي (الفعلي) عملية غير حيوية.

وتشمل تفاعلات التحولات غير الحيوية الأساسية التي تحدث في البيئات المائية التحلل المائي، والتأكسد - الاختزال، والتحلل الضوئي؛ أما في الرواسب فيسود التحلل المائي وتفاعلات التأكسد والاختزال. وتفاعلات التأكسد التي تحدث في البيئات المائية يمكن أن يتوسطها تفاعلات التحلل الضوئي المباشر أو غير المباشر، التي تعتمد على المركب العضوي والمواد المخمرة الموجودة، ويمكن أن تحدث الأكسدة غير الضوئية مباشرة بواسطة الأوزون، أو بواسطة الخواص التحفيزية لمعادن معينة. ويمكن أيضاً تحفيز الاختزال غير الحيوي للكيماويات العضوية بواسطة معادن معينة، أهمها الحديد والمنجنيز. وتتبع تفاعلات التأكسد والاختزال في الرواسب الطريق نفسه الموضح بالنسبة للأراضي.

وفي الأراضي تحدث التحولات غير الحيوية في الطور السائل (محلول التربة) وعند السطح البيئي الفاصل صلب - سائل. وفي المحلول الأرضي، يعتبر التحلل المائي وتفاعلات التأكسد والاختزال أكثر التحولات غير الحيوية شيوعاً، بالرغم من أن عدداً من التفاعلات الأخرى يمكن أن يحدث أيضاً. والطين، والمادة العضوية، وأكاسيد الفلزات قادرة على تحفيز التفاعلات غير الحيوية التي تحدث في الأراضي، وتؤثر أيضاً الكاتيونات المتبادلة في تحولات الكيماويات العضوية. مرة أخرى، فإن التحلل المائي وتفاعلات التأكسد والاختزال تسود التفاعلات غير الحيوية التي تحدث في الأراضي.

وتُقسّم التحولات الميكروبية للكيماويات العضوية إلى: (١) تحولات حيوية (الملوث يستخدم كبيئة أو مادة للنمو أي الأيض)، (٢) الأيض المرتبط (يتحول الملوث بواسطة تفاعلات أيضية أو بنائية بدون أن يستخدم كمصدر للطاقة)، (٣) التراكم (الملوث يندمج أو يدخل في الكائن الحي الدقيق)، (٤) البلمرة أو الاقتران (الملوث يرتبط بمادة

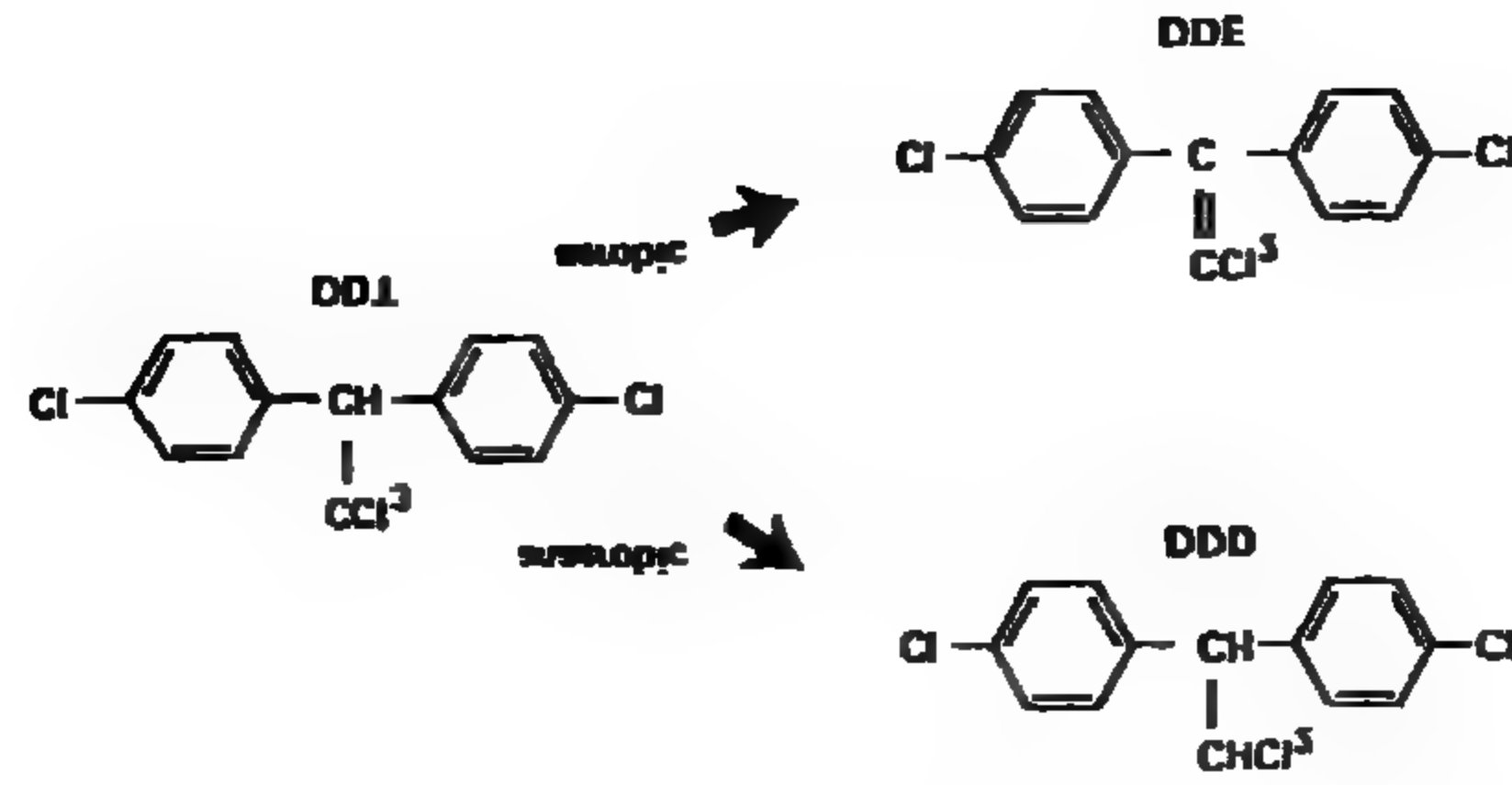
أخرى عضوية)، (٥) تأثيرات ثانوية للنشاط الميكروبي (يتحول الملوث بسبب تأثيرات ميكروبية غير مباشرة ، أى: pH ، التأكسد والاختزال) (Bollog and Yiu, 1990). وبالرغم أن هذه التحولات تتوسطها الكائنات الحية الدقيقة، فإنها تتضمن أيضا تحولات غير حيوية خاصة فى التحولات المرتبطة بالقسم الرابع والقسم الخامس.

ويعتبر التحلل الحيوى الآلية الرئيسية التى فيها تتحول الكيماويات العضوية إلى نواتج غير عضوية مثل ثانى أكسيد الكربون، وماء، وأملاح معدنية. ويُعدُّ تمثيل الكيماويات العضوية فى الأراضى بواسطة البكتريا أكبر من تمثيل هذه الكيماويات بواسطة الكائنات الدقيقة الأخرى. وفى النظم البيئية الطبيعية، يتم تسهيل التحلل الحيوى للكيماويات العضوية فى البداية بواسطة البكتريا عضوية التغذية والأكتينومييسيتات، وبعض البكتريا ذاتية التغذية، والفطر بما فى ذلك الباسيديومييسيتات والخميرة، وبروتوزوا معينة. ويمكن أن يحدث التحلل الحيوى تحت الظروف الهوائية واللاهوائية كما هو موضح لمركب د د ت فى شكل ٨ - ٥.

٨ - ٤ إستراتيجيات لعلاج المياه الجوفية والأراضى الملوثة:

إن تلوث البيئة التى نعيش فيها من هواء، وأراضٍ، وجداول، ومياه جوفية أصبح قضية قومية. وإن بعض المشاكل الأكثر شيوعا للملوث مقرونة بالتسرب من أحواض التخزين تحت الأرض، ومن التخلص غير الصحيح للزيوت والشحوم والمذيبات، وحمأة المصانع، وسقوط الملوث، وغيرها؛ فالمواقع التى حدث لها تلوث تحتوى بصفة عامة على خليط من المكونات العضوية. لذلك فإنه من المهم أن نفهم طريقة سلوك هذه النظم متعددة المكونات حتى يمكن وضع وتطوير استراتيجيات العلاج. وفى الأقسام السابقة، ناقشنا العمليات الكيميائية، والفيزيائية، والميكروبية التى تحدد حركة ومصير الكيماويات العضوية. وفى الأقسام التالية، سوف نناقش استراتيجيات عديدة تستخدم لعلاج المياه والأراضى الملوثة.

والمراحل الثلاث لبرنامج العلاج هى: التعريف، والتقييم، والفعل. ويتطلب تعريف أو تحديد موقع مشكلة محتملة: إما معرفة التاريخ الماضى للمنطقة والأنشطة التى



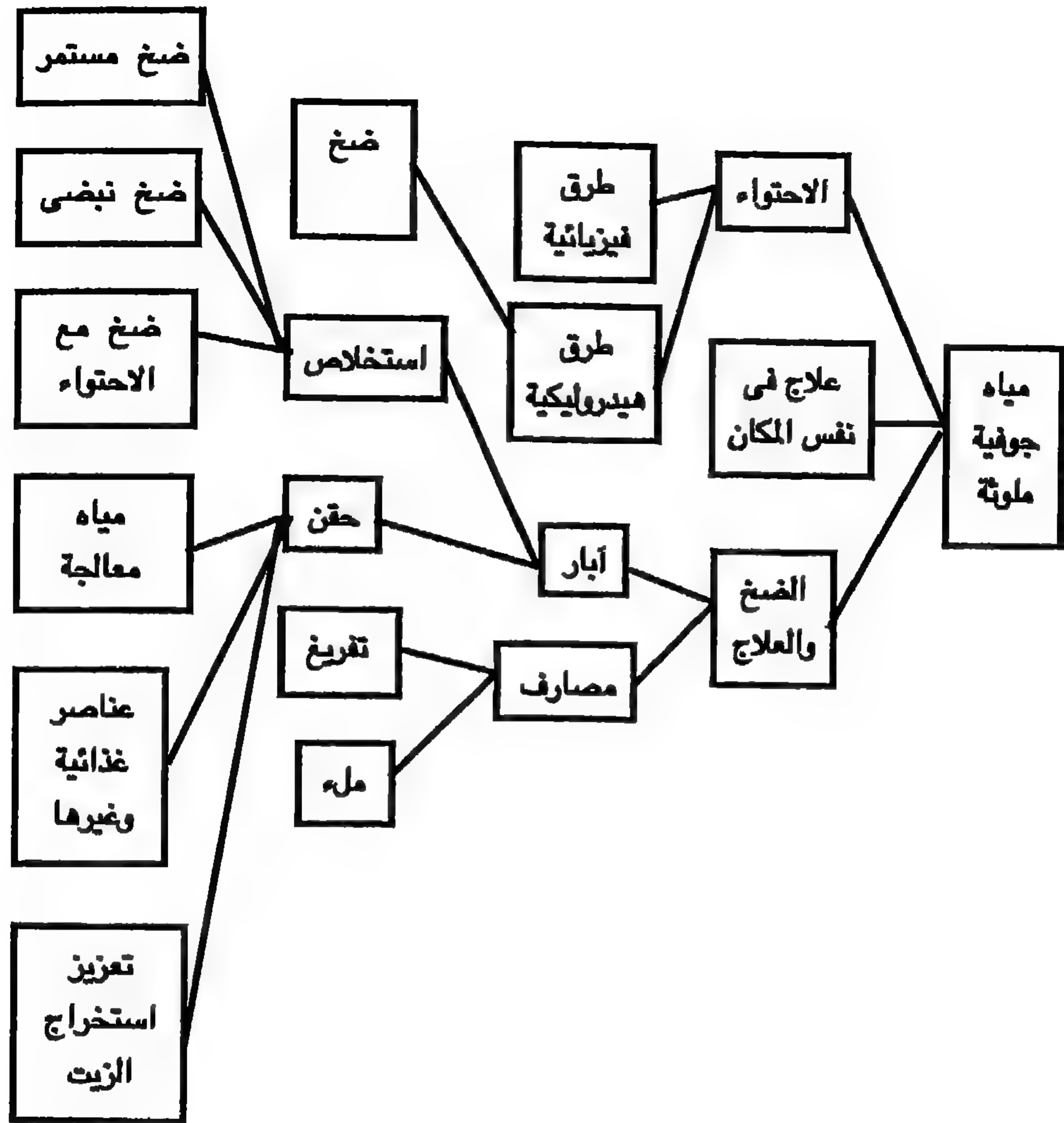
شكل ٨ - ٥ أمثلة للنواتج اللاهوائية والهوائية الناتجة من التحول الحيوي للمركب الكيميائي
د . د . ت.

تمت، أو يتطلب تحليل عينات المياه والأراضي والذي يوضح أن الموقع قد حدث له تلوث. أما التقويم فهو يقوم فقط بتقويم خطورة مشكلة الملوث. وبكلمات أخرى، هل توجد فعلاً مشكلة؟ أين هذه المشكلة؟ وما مدى انتشار المشكلة؟ وبعد أن يتم التقويم، يجب أن يتم تطوير خطة عمل أو تنفيذ العلاج الذي سوف يواجه المشاكل المعينة التي سبق تعريفها. وقد يتطلب برنامج العلاج معالجة كل من الأراضي والمياه السطحية والجوفية.

٨ - ٤ - ١ إستراتيجيات علاج المياه الجوفية:

توجد في الوقت الحالي تقنيات عديدة ميسرة لعلاج تلوث المياه الجوفية. وفي حالة اعتبار الفعل العلاجي ضرورياً، فإن هناك ثلاثة خيارات عامة ميسرة هي:
الاحتواء، أو العالجة في نفس الموضع، أو طريقة الضخ والمعالجة
(شكل ٨ - ٦).

وسوف تناقش الطرق المستخدمة لاحتواء الملوثات في قسم ٨ - ٤ - ٤؛ حيث إن كثيراً من هذه الطرق مفيدة في تقييد حركة الملوث في كل من المياه الجوفية أو بيئة التربة. ومن بين تقنيات العلاج، فإن طرق العلاج في نفس الموضع هي الأكثر استخداماً؛ وذلك للأسباب التالية: يُعد ضررها السطحي أقل من غيرها بصفة عامة؛



شكل ٨ - ٦ الخيارات المتاحة لعلاج المياه الجوفية ، والشكل يوضح طرق الضخ والعلاج.
(Mercer et al ., 1990.)

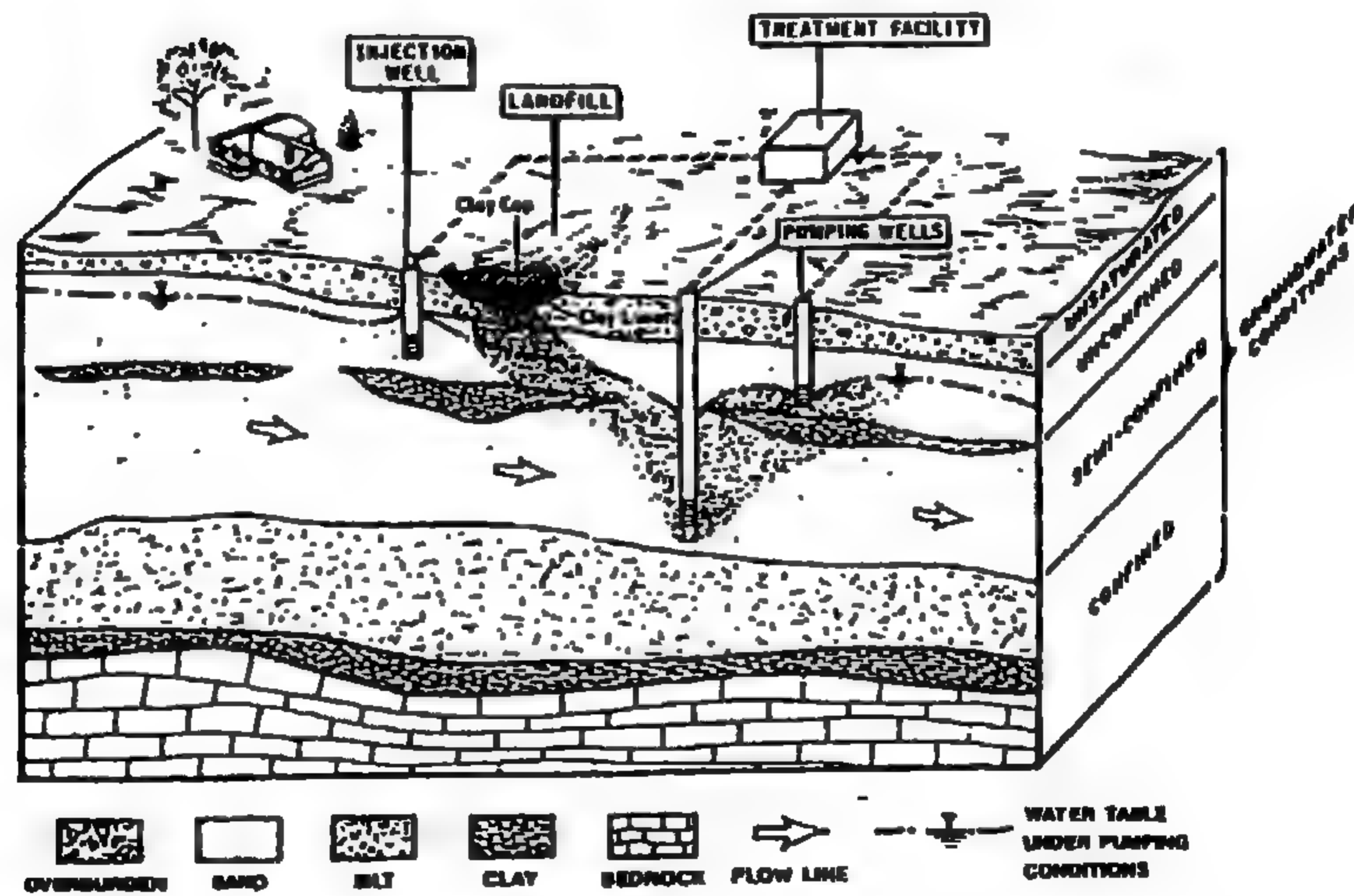
كما تتطلب أدنى كمية من الإمكانيات، وتقلل احتمال تعرض الإنسان للملوثات، وتحتاج تكلفة أقل من غيرها من الطرق، وفي حالة فعاليتها تساعد على تخفيض أو إزالة الملوث.

وتعتبر طريقة الضخ والمعالجة أحد العمليات الأكثر شيوعاً المستخدمة لعلاج المياه الجوفية الملوثة. وفي هذه الطريقة، يتم ضخ المياه الملوثة إلى السطح حيث يتم استخدام إحدى عمليات المعالجة الكثيرة. وهناك اعتبار رئيسي في تقنية الضخ والمعالجة وهو موضع الآبار؛ فإذا كانت نفاذية مادة تحت السطح منخفضة، فالأمر يتطلب وجود مصارف بدلاً من الآبار. ويعتبر موضع البئر مهماً، ولذلك سوف يعتمد على خواص الموضع (جدول ٨-١٠). ويستخدم نوعان من الآبار؛ آبار السحب، وآبار الحقن. وآبار السحب يمكن أن تضخ (تسحب) المياه باستمرار، و/أو يكون ضخها نبضياً، و/أو ضخاً احتوائياً، أما آبار الحقن فتستخدم بالاقتران (بالتوحيد) مع آبار السحب، ويتحدد موضعها بحيث تُشجع أو تُقوى حركة الملوث الداخلة إلى آبار السحب. والمحاليل المحقونة عبارة عن مياه معالجة، أو مياه تحتوي عناصر غذائية، أو مواد أخرى تزيد فرص التحلل الكيميائي أو الميكروبي للملوث، أو مواد تعزز استخراج الزيت. ويوضح شكل ٨ - ٧ مثلاً لموقع يستخدم آبار الحقن والسحب.

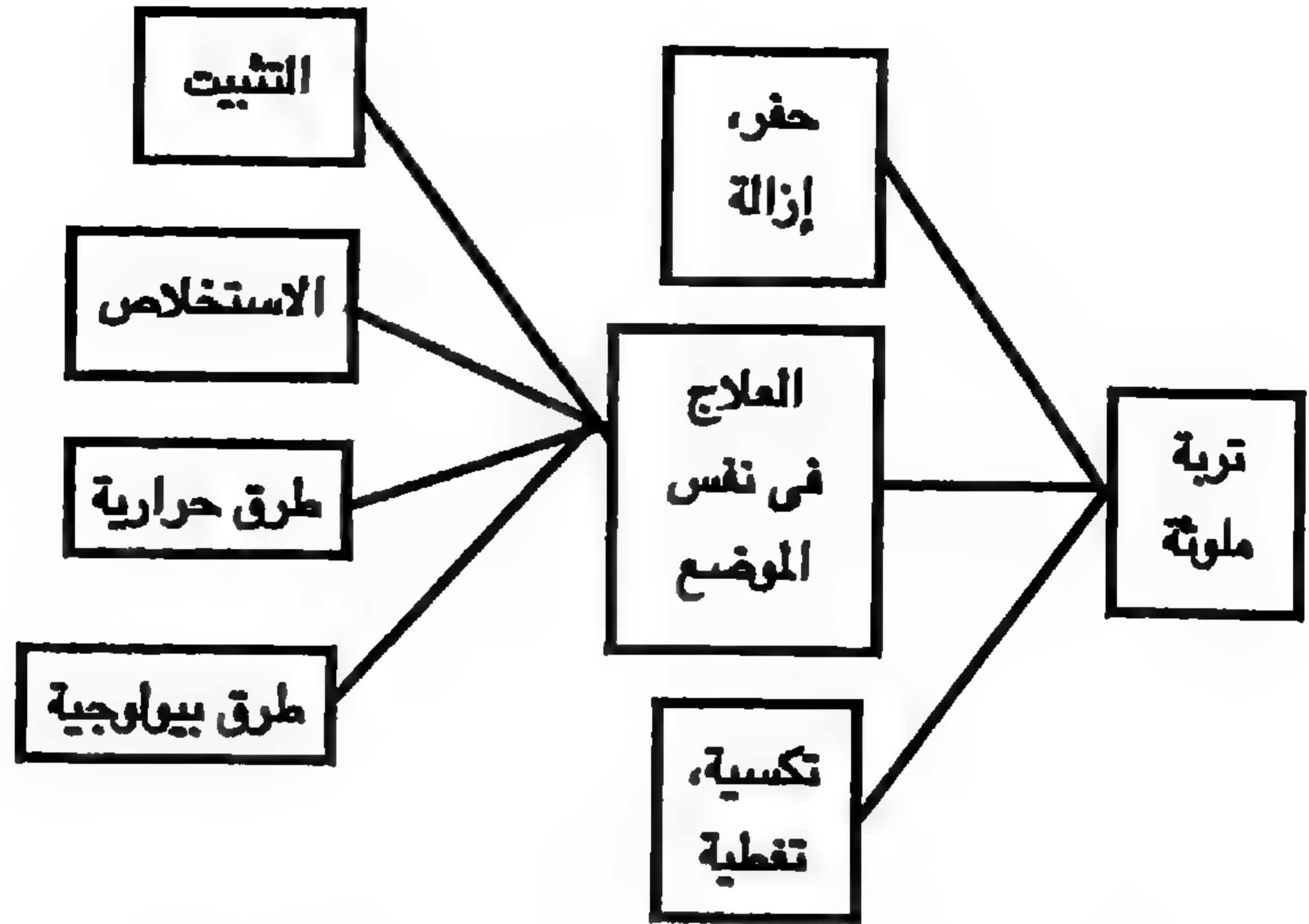
وبعد أن يتم ضخ المياه الملوثة إلى السطح أو تُجمع في نظم الصرف، تبدأ المعالجة اللازمة لإزالة الملوثات. وتقنيات المعالجة يمكن أن تُجمع في ثلاث فئات تشمل مايلي: (١) فيزيائية: الادمصاص، وفصل المواد الطافية، والمعاملة بالهواء والبخار، والمعاملة الحرارية؛ (٢) كيميائية: التبادل الأيوني، والتأكسد والاختزال؛ (٣) بيولوجية: معالجة الأرض، وحجز الحمأة المنشطة وتلك الطافية التي على السطح، والتحلل البيولوجي. وسوف نناقش بتفصيل أكبر طرق المعالجة هذه في القسم ٨ - ٤ - ٣.

وبسبب الطبيعة المعقدة لبيئات تحت السطح، فقد تم تحقيق نجاح محدود فقط بالنسبة لطرق المعالجة في نفس الموضع؛ ومع ذلك، فكلما تزداد معرفتنا بهذه النظم فإننا، بدون شك، سوف نسمع عن كثير من منجزات العلاج في نفس الموضع. ويمكن إجراء العلاج في نفس الموضع للمياه الجوفية بواسطة التقنيات الكيميائية والبيولوجية.

والتقنيات الفيزيائية مثل الامصاص تحتجز الملوث، وقد يكون هذا مفيداً لمزيدٍ من التحلل البيولوجي والكيميائي، وتعتمد تقنيات المعالجة البيولوجية في نفس الموضع المستخدمة للعلاج البيولوجي للمياه الجوفية؛ إما على الكائنات الدقيقة الأصلية، والتي يتم تنشيطها بالأكسجين أو العناصر الغذائية لكي تحلل الملوثات، أو على تحسين بيئة المياه الجوفية عن طريق تزويدها بالكائنات الدقيقة (الزيادة الحيوية). وتجرى حالياً دراسات معملية باستخدام الكائنات الدقيقة المهندسة وراثياً والقادرة على تحليل الملوثات العضوية، ولكن قبل أن تستخدم هذه الكائنات الدقيقة لعلاج المياه الجوفية في نفس الموضع، مطلوب عمل بحوث إضافية لكي تؤكد أن هذه الكائنات الدقيقة المهندسة وراثياً سوف لا تسبب ضرراً للبيئة.



شكل ٨ - ٧ رسم لموقع يوضح استخدام آبار الحقن و آبار الاستخلاص في علاج موقع ملوث من مدفن نفايات .
(Mercer , et al., 1990.)



شكل ٨ - ٨ الخيارات المتاحة لعلاج الأراضى الملوثة : الرسم يوضح طرق العلاج فى نفس الموضع. (Mercer , et al., 1990.)

٨ - ٤ - ٢ إستراتيجيات العلاج للأراضى الملوثة:

توجد أيضا تقنيات عديدة لاحتواء أو علاج الأراضى الملوثة. ويوضح شكل ٨ - ٨ بعض الخيارات الميسرة (المتاحة) فى حالة التسليم بضرورة العلاج، بالرغم من وجود تقنيات أخرى والتي قد تكون مناسبة بدرجة أكبر، وهو ما يعتمد على الظروف الفعلية للموقع الملوث. وفى تنفيذ العلاج بالحفر، فإن مواد التربة والمواد تحت السطح تحفر وتسحب إلى أعلى، وإما أن تعالج فى نفس المكان أو تنقل إلى مكان آخر. وهناك مشكلات عديدة ترتبط بالطريقة الأخيرة من العلاج، وهى: (١) نقل الملوث قد يسبب أضراراً إضافية مثل فقد المادة، واحتمال الحوادث، وزيادة اضطراب البيئة، (٢) تكاليف النقل، قد تجعل عملية العلاج مكلفة جداً، وبالذات إذا كانت مسافة النقل كبيرة، كما أن نقل المواد الملوثة من مكان إلى مكان آخر لا يحل المشكلة إلا إذا تم عمل خطوات معالجة إضافية. وقد تكون زراعة الأراضى (انظر الفصل التاسع) خياراً

عملياً لو كان الملوث قابلاً للتحلل أو كان مفيداً لأغراض عملية. ومع ذلك، فإن حرق المادة الملوثة أو المعالجة الكيميائية لها قد تنتج عنها مشاكل تحتاج إلى تصحيح. وهناك مسألة أخرى مهمة مرتبطة بنقل المواد الملوثة، وهي خاصة بكيفية شعور الجمهور بقبول هذه المخلفات، وفي حالة الحرق، ماهى الضمانات أو التأمينات التي يأخذها الجمهور حتى لا يصبح تلوث الهواء مشكلة ؛ فالشعور العام لكثير من المجتمعات تجاه التخلص من المخلفات (النوعية، والحماة، والمواد الملوثة) وكذلك الحرق، هو «ليس فى فنائى الخلفى» (NIMBY) أى «تخلص منه أو أحرقه بعيداً عني».

وإذا كان الحفر والنقل وسيلة غير مقبولة لإزالة الأراضى الملوثة وذلك لأسباب اقتصادية، أو اجتماعية، أو بيئية، فهناك خيارات أخرى (شكل ٨ - ٨) تشمل إما احتواء المادة الملوثة أو معالجتها فى نفس مكانها. وقد يكون خيار الاحتواء هو الأفضل عملياً وهذا يتوقف على الظروف (أى طبيعة المخلف، وظروف الموقع، واحتمال الخطر). وسوف نناقش فى القسم ٨-٤-٤ طرق الاحتواء التى تستخدم لتقييد حركة الملوث فى نظم الأراضى والمياه الجوفية. وتعتمد معالجة المواد الملوثة فى نفس الموضع أيضاً على الحفر، ولكن العلاج أو معالجة المادة يتم بدون نقلها إلى مكان آخر.

وتتطلب الطريقة النمونجية لمعالجة المواد الملوثة فى نفس الموضع مايلى:

أولاً: أن يتم حفر واستخراج هذه المواد،

ثانياً: أن تعالج هذه المواد بأحد الطرق العديدة لإزالة الملوث، أو هدمه (إبادته)، أو تثبيته،

ثالثاً: أن يتم إعادة (إرجاع) المواد إلى مكانها.

وتشمل بعض الطرق الشائعة الاستخدام للعلاج فى نفس الموضع مايلى:
الاستخلاص (الغسيل) ، والفصل ، والطفو ، والمعالجة الحرارية ، والنزع بالبخر ، والمعالجة الكيميائية، والانهلال بالميكروبات. وبالرغم أن جميع هذه الطرق قد يمكن تطبيقها لإزالة التلوث من الأراضى المحتوية كيمائيات عضوية، إلا أن أكثر هذه الطرق القابلة للتطبيق هى الاستخلاص (الغسيل)، والمعالجة بالحرارة، والتحلل الميكروبي.

وتلقى طرق المعالجة فى نفس الموضع لعلاج الأراضى الملوثة بمركب عضوى قبولاً متزايداً؛ لأنها تتطلب معالجة فيزيائية أقل للمنطقة الملوثة، كما أنها، بصفة عامة، أقل تكلفة. ويمكن إجراء العلاج فى نفس المكان بدون حفر واستخراج، ويتطلب، على نحو نموذجى، حقن سائل، أو عجينة من طين رقيق القوام، أو غاز يحتوى على العامل الكيماوى أو العامل الميكروبي الذى سوف يتفاعل مع الملوثة. كما أن بعض طرق العلاج فى نفس الموضع المستخدمة أو المقترحة عبارة عن معالجة كيميائية، أو تصلب (تجبر)، أو معالجة حرارية، أو تحلل ميكروبي، ويشمل التحلل البيولوجى فى نفس الموضع حقن مادة (مثل فوق أكسيد الهيدروجين، وعناصر غذائية) لتتفاعل مع البكتريا ولا تتفاعل مع الملوثة.

وهناك صورة أخرى للمعالجة فى نفس الموضع للمناطق الملوثة تعتمد على قدرة النباتات على تجميع أو إزالة سموم الكيماويات العضوية. وبالرغم أن استخدام النباتات للمعالجة فى نفس الموضع لم يدرس بدرجة كبيرة، إلا أن الحقيقة التى تعنى أن للنباتات القدرة على امتصاص وتمثيل مبيدات الأعشاب، توحى أن هناك ميزة منتظرة لهذا النوع من المعالجة فى نفس الموضع. وتستخدم فى الوقت الحالى الأراضى الرطبة لمعالجة مياه المجارى المعالجة والتى تحتوى كميات متفاوتة من الكيماويات العضوية، كما أن إنشاء أراضى رطبة صناعية داخل أو حول الموقع الملوثة قد يساعد بدرجة فعالة فى تحلل الكيماويات العضوية. وتعتبر زراعة مناطق واقية على ضفاف الأنهار مثلاً جيداً لاستخدام العمليات الطبيعية فى مقاومة تدهور الجداول والأنهار.

٨ - ٤ - ٣ طرق المعالجة:

إن طرق المعالجة التى نوقشت فى القسم السابق مدونة أدناه. ولقد تم تجميع طرق المعالجة المختلفة طبقاً لثلاث تقنيات أساسية: فيزيائية، وكيميائية، وبيولوجية.

٨ - ٤ - ٣ - ١ الطرق الفيزيائية :

طرق الادمصاص: تعتمد على الادمصاص الفيزيائي للملوث العضوى أو احتجازه (حبسه) على فحم منشط أو راتنج صناعى (تخليقى). وتمرُّ المياه الملوثة خلال أعمدة أو أوعية كبيرة مملوءة بالراتنجات. ويفضل استخدام الفحم المنشط، وهو فعال بدرجة عالية فى إزالة الكيماويات العضوية منخفضة النويان.

طرق الفصل: تشمل المعالجات التى تفصل الملوثات عن الأراضى بطريقة فيزيائية، والتناضح العكسى، الذى يركز الملوثات عن طريق إجبار المياه، باستخدام ضغط، على المرور خلال غشاء شبه منفذ، ويمكن تحقيق الفصل الفيزيائي للملوثات الطور المائى والعضوى باستخدام الضغط أو السحب ؛ فالكحولات ذات الوزن الجزيئى المنخفض، والكيثونات، والأمينات، والألهيدات، يمكن فصلها باستخدام طريقة التناضح العكسى.

الطفو أو التعويم؛ أو الفصل بالكثافة: يستخدم عادة لفصل الكيماويات العضوية المنخفضة الكثافة من الأراضى والمياه الجوفية. ولتسهيل عملية الطفو، يمكن إضافة مواد كيميائية إلى الأراضى أو المياه لتحرير الكيماويات العضوية الملتصقة (المتحمة) بالمواد الصلبة، ويستخدم أيضا الطفو لاستخلاص زيت البترول من رمال الزيت ورمال القطران.

النزع بالهواء والبخار: يمكن أن يزيل الكيماويات العضوية المتطايرة من كل من الأراضى والمياه. والمواد العضوية المتطايرة المنطلقة يمكن جمعها عن طريق احتجازها على فحم منشط أو باستخدام مكثف. وهذه الطريقة مفيدة بصفة خاصة لإزالة الهيدروكربونات الذائبة فى الماء (مثل: الميثانول، الإيثانول، أيزو بروبانول، الفينول)، والهيدروكربونات غير القابلة للامتزاج بالماء (مثل: البنزين، التولوين، الزيلين)، والهيدروكربونات المهلجنة (مثل: ترائى كلورو إيثيلين، ميثيلين، داي كلورو - بنزين).

المعالجة الحرارية : وتعتمد على الحرارة لإزالة الملوثات إما بالتبخير أو بتدمير الملوث بالحرارة الكافية (الحرق، والتحويل إلى رماد). وفى الطريقة الأولى، فى حالة وجود كميات معنوية من الكيماويات العضوية عالية التطاير مثل الهيدروكربونات

والهيدروكربونات المهلجنة، فإنه من الممكن استردادها واستعادتها. وينتج عن الحرق الكامل للكيماويات العضوية السائلة، والغازية، والصلبة ثاني أكسيد كربون، وماء، وحامض هيدروكلوريك، ونواتج أخرى.

التصلب: يمكن إنجازه عن طريق الربط الفيزيائي أو الكيميائي للأرض أو مادة المخلفات في كتلة متصلبة أو متحجرة، ويمكن أن تصبح المادة الملوثة متصلبة مباشرة، أو تصبح المواد المحيطة بالموقع الملوثة متصلبة وتُكوّن شريطاً عازلاً، وتشمل معالجات التصلب في الغالب استخدام الأسمنت أو مواد بلاستيكية أخرى.

٨ - ٤ - ٣ - ٢ الطرق الكيماوية:

المعالجة الكيماوية: تشمل إضافة عامل كيميائي إما على سطح التربة أو من خلال نظام حقن يسمح بنفاذ أعماق للعامل الكيميائي في داخل بيئة تحت السطح. ويمكن أن يتفاعل العامل الكيميائي مع الملوث العضوي لكي يعادل الملوث، أو يثبته، أو يُغيّره كيميائياً للدرجة التي لا يسبب بها ضرراً للبيئة. وفي حالات معينة، فإن الغسيل بالماء للموقع الملوثة أو بمحلول ملح قد يؤدي إلى حماية كافية من التدهور إلى حد أبعد من الحالي. ومع ذلك، فإن هذه الطريقة لا يمكن تطبيقها في المناطق التي تصل فيها المواد الراشحة إلى المياه الجوفية.

الاستخلاص (الغسيل): يمكن إنجازه للكيماويات العضوية مثل الهيدروكربونات والهيدروكربونات المهلجنة باستخدام واحد من عوامل الاستخلاص المائية المختلفة العديدة مثل: حامض، أو قاعدة، أو منظف، أو مذيب عضوي قابل للامتزاج في الماء. ومعروف أن الكيماويات العضوية تُدمص أو تحجز على سطوح الطور الصلب المعدني والعضوي للأراضي. وتستطيع بعض عوامل الاستخلاص القاعدية - مثل أيدروكسيد الصوديوم وكربونات الصوديوم - أن تقوم بإذابة أو تفريق المادة العضوية، وهو ماسوف يُعزّز إزالة الكيماويات العضوية. وينبغي أن تكون المذيبات العضوية المستخدمة لاستخلاص أو لغسيل الأراضي الملوثة قابلة للامتزاج بالماء لكي يسهل

فصلها بعد المعالجة ، وتشمل المذيبات العضوية المقترحة الإيثانول، والأيزوبروبانول، والأسيتون.

تكسّد الملوثات العضوية: يستخدم بدرجة واسعة في معالجة المياه الجوفية. وتشمل بعض المؤكسدات الكيميائية الشائع استخدامها الهواء، والأكسجين، والأوزون، والأوزون مع الأشعة فوق البنفسجية (UV)، والكلورين، والهيپوكلوريت، وفوق أكسيد الهيدروجين. ويتم إجراء المعالجة في نفس الموضع للأراضي والمياه الجوفية عن طريق حقن مياه غنية بالأكسجين في داخل المناطق الملوثة. ومن المسلم به، أن التحلل القوي للملوثات العضوية يتم بواسطة الكائنات الدقيقة الأصلية.

راتنجات التبادل الأيونية وغير الأيونية: وهذه يمكنها أن تدمص الملوثات، مما يقلل من غسيلها. فتدمص بواسطة راتنجات التبادل الملوثات العضوية التي تمتلك مواقع مشحونة؛ أي الأحماض العضوية (الأحماض الكربوكسيلية والفينولات) والأمينات العضوية، وكذلك المركبات العضوية غير المحبة للماء. وبحقن راتنجات التبادل في منطقة تحت السطح، فإن الملوثات لا تلي لا تكون مدمصة بشدة على سطوح المواد تحت السطح، يمكن أن تُحجز لمدة طويلة كافية للمُحمّل الكيميائي أو الميكروبي لجعل الملوث العضوي غير ضار.

٨ - ٤ - ٣ - ٣ الطرق البيولوجية:

معالجة الأراضي: هي طريقة فعالة لعلاج المياه الجوفية والأراضي الملوثة ؛ فالمواد الملوثة يتم خلطها في التربة أو يتم تفريقها على سطح التربة، والتحلل الميكروبي للكيمائيات العضوية يتم تعزيزه مع الزمن؛ حيث إن الكائنات الدقيقة يقل مفعولها بالنسبة للملوث. وتشمل طرق استخدام المياه الجوفية في زراعة الأراضي الري، أو الانسياب فوق سطح الأرض، أو الري تحت السطح. وهناك مناقشات أوسع فيما يتعلق بزراعة الأراضي في الفصل التاسع.

الحمأة المنشطة والمياه السطحية المجمعة المهواة: وهما طريقتان تستخدمان لتحلل الملوثات العضوية الموجودة في المياه. وتساعد الطريقتان على تحلل الملوثات العضوية عن طريق تشجيع أو تعزيز التحلل الميكروبي. وفي طريقة المعالجة بالحمأة المنشطة، يتم تدوير مادة الحمأة، وهي غنية بالكائنات الدقيقة القادرة على تحلل الكيماويات العضوية. وبالاعتماد على طبيعة سطح المياه السطحية المجمعة، تصبح كل من عمليتي التحلل الهوائي والتحلل اللاهوائي فعالة.

التحلل البيولوجي، أو التحلل الميكروبي: هو أحد العمليات الخمس البيولوجية الوسيطة التي تحول الملوثات العضوية، وتعتبر أكثر أهمية من العمليات الكيميائية والفيزيائية في كثير من الحالات، كما يعتبر التحلل البيولوجي للأراضي والمياه الملوثة تقنية جديدة نسبياً لاقت اهتماماً كبيراً في طريقة العلاج في نفس الموضع. ولقد أوضحت دراسات عديدة، في كل من الولايات المتحدة وأوروبا، أن التحلل البيولوجي فعال في علاج المواقع الملوثة. ومع ذلك، فإن معدلات التحلل البيولوجي لبعض الكيماويات العضوية بطيئة نسبياً مثل الهيدروكربونات عالية الوزن الجزيئي، والمركبات الأروماتية عديدة الأنوية، والمركبات العضوية عالية الإحلال (مثل PCB). وهناك مزيد من المناقشات الإضافية عن العلاج البيولوجي للأراضي الملوثة بالكيماويات العضوية في الفصل التاسع.

٨ - ٤ - ٤ الطرق المستخدمة لاحتواء الملوثات:

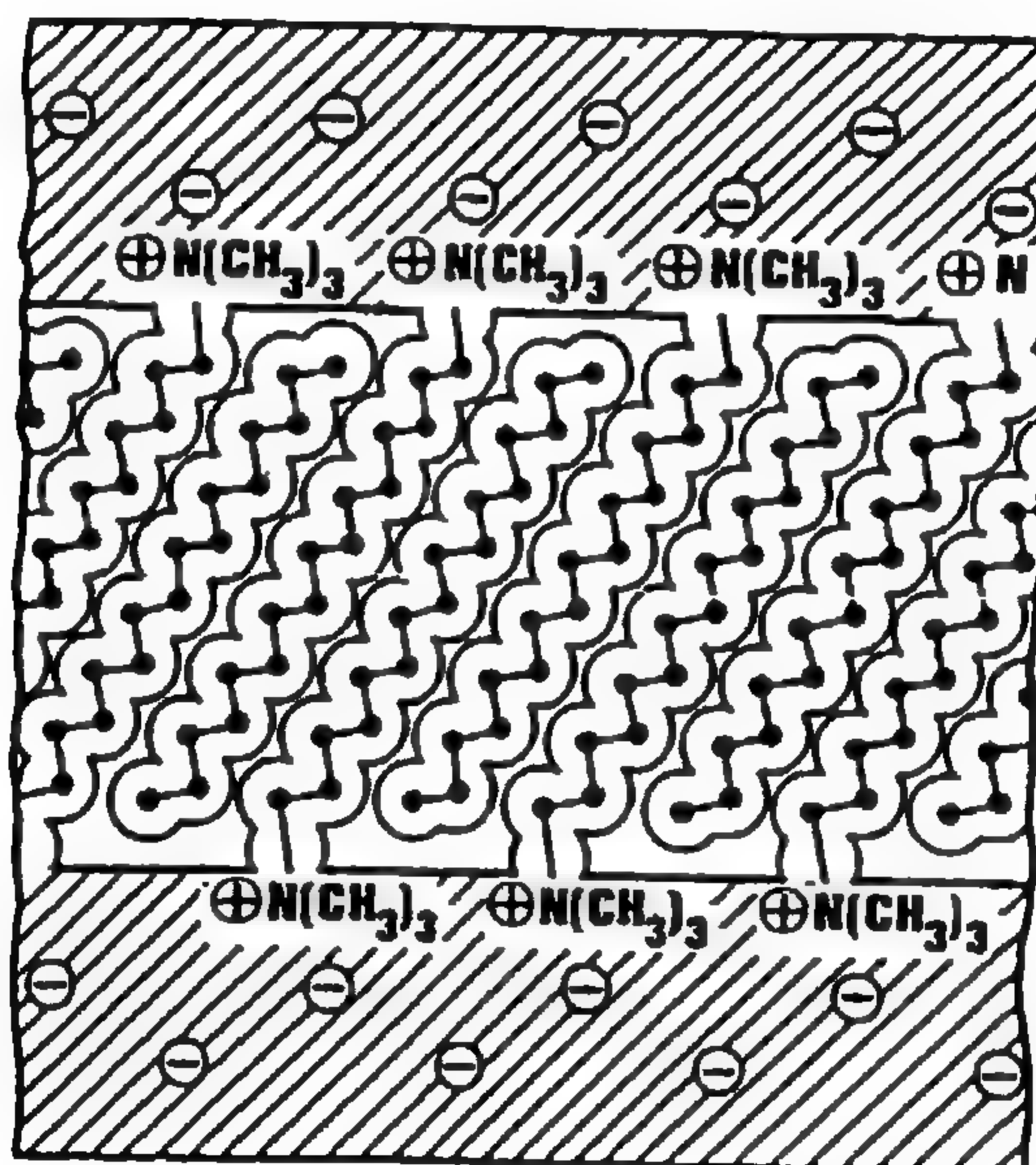
يعتبر عزل الملوثات عن طريق وضع حواجز تحتها أو حولها صورة للعلاج الذي يُقيد حركة الملوث فيما بعد. وبالرغم من أن نظم الاحتواء لها، في الغالب، نفاذية منخفضة عن التربة وأيضاً عن مواد تحت السطح المحيطة بالموقع الملوث، فإنها لا تعطي ضماناً ١٠٠٪ بأن حركة الملوثات في المستقبل لن تحدث. وتشمل بعض أنواع حواجز الاحتواء المستخدمة حالياً حوائط من الطين لخدق محفور في الأرض، وستارة من الجص أو الأسمنت، وحوائط حزمة مهتز، وركائز من الألواح أو الصفائح، وسدّادات محكمة للقاع (لمنع التسرب). وتُبنى حواجز الاحتواء في الغالب من التربة،

والطين، والخرسانة، والبلاستيك، والصلب، ومواد بناء أسمنتية أخرى. ولم يكن مطلوباً في الماضي عمل مثل هذه الحواجز حول محيط موقع حفرة احتواء المادة الملوثة، ولكن في عام ١٩٧٩، اقترحت وكالة حماية البيئة الأمريكية دليلاً لمقاومة الرشح من حفرة احتواء الملوثة؛ فرأت أنه ينبغي أن يكون قاع الحفرة على الأقل ١٥ متر فوق مستوى الماء الأرضي، مع وضع حواجز فوق القاع وعلى الجوانب لسد الحفرة (إذا كانت ظروف الحفرة تؤدي إلى تلوث المياه الجوفية)، وفي حالة الاعتقاد بضرورة وجود بطانة، فينبغي أن تتركب من مواد لها نفاذية 10^{-7} سم/ث (تقريباً ١٠ قدم/سنة) أول أقل.

وأوضحت الدراسات الحديثة أن كيماويات عضوية معينة عندما تدمص على مواد التربة والطين، يمكن أن تعطى حاجز ادمصاص فعالاً بالنسبة لرشح الملوثات العضوية. والكيماويات العضوية المستخدمة في هذه الدراسات عبارة عن كاتيونات عضوية من مجموعة كيماويات عضوية (كاتيونات الأمونيوم الرباعية، المعروفة أيضاً بـ QUATS)، وهي بصفة عامة رخيصة الثمن، وتستعمل على نطاق واسع في مركبات مثل المنظفات، والرشاشات، ومضافات أحواض السباحة. ولكونها ذات شحنة موجبة، فإن هذه الملطفات الكيميائية ترتبط بقوة إلى المواقع السالبة الشحنة في الأرضي، وتكون أطواراً فعالة لادمصاص الملوثات العضوية. ويمكن أن تتكون الأرضي المحسنة وكذلك مواد تحت السطح المحسنة في نفس المكان عن طريق حقن كاتيونات الأمونيوم الرباعية QUATS في داخل منطقة ماحول المواقع الملوثة، أو في منحدر أسفل مستوى الملوثة، وذلك حتى يتم منع هجرة الملوثة. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن تحضير مواد من الطين المرتبط مع مركبات عضوية تسمى Organo - Clays وحقنها في هيئة عجينة رقيقة (رؤية) لتكون حاجزاً فعالاً حول الموقع أيضاً. وحيث أن مواد الطين المرتبط مع مركبات عضوية قادرة على ادمصاص مكونات البترول (مثل البنزين، تولوين، إيثيل بنزين، الزيلين - p، بيوتيل بنزين، نافثالين)، فقد تكون مفيدة كمادة تمثل بطانة حول حقول صهاريج البترول وخزانات التخزين تحت الأرض، ومن الممكن أيضاً استخدامها لعلاج المياه الملوثة بالبترول، ويوضح شكل ٨ - ٩ مثالا لمادة الطين المرتبط مع مركبات عضوية.

٨ - ٥ إدارة الآفات:

ينبغي أن يعتمد برنامج مكافحة الآفات على تكامل تقنيات وممارسات إدارة الآفات، وهذا التكامل يساعد على تحقيق منافع اقتصادية، وبيئية، واجتماعية، ويشير مصطلح «تكامل تقنيات وممارسات إدارة الآفات» إلى الاستخدام المنسجم للمكافحة الحيوية، والكيمائية، والميكانيكية، والزراعية لإدارة تآهيل الآفات. ولقد أصبحت برامج إدارة الآفات، بالإضافة إلى ممارسات الصيانة الزراعية أكثر قبولا في قطاع الإنتاج الزراعي كلما اكتسب الأفراد فهماً أكبر وتقديراً أكبر لكيفية عمل الطبيعة، وكلما ازداد الاهتمام بالجودة البيئية.



شكل ٨ - ٩ مثال للطين المرتبط مع مركبات عضوية . يدمص الكاتيون العضوي $N(CH_3)_3^+$ بين طبقات معدن الطين المتفخ . الملوثات العضوية غير الأيونية مثل البنزين، والتولوين، والزيلين تدمص بدرجة كبيرة بواسطة وكبيرة بواسطة مواد الطين المرتبط بالمركبات العضوية. (Boyd et al., 1991.)

جيوالوجية:

- نوع الطبقة الصخرية الحاملة للمياه.
- سمك، ومساحة الطبقة الحاملة للمياه.
- نوع المسامية (أولية : مثل المسام الداخلية فى الحبيبات ، أو ثانوية : مثل الحال عند عدم انتظام حجر الأساس، مثل الشقوق أو الفجوات المائية).
- وجود أو غياب وحدات غير منفذة أو طبقات مُحَدَّدة.
- عمق مستوى الماء الأراضى؛ سمك منطقة قانوز.

هيدروليكية:

- الخواص الهيدروليكية للطبقات الحاملة للماء (التوصيل الهيدروليكى ، القابلية للنقل ، القابلية للخرن ، المسامية ، الانتشار).
- ظروف الضغط (محبوس ، غير محبوس ، محبوس مع تسرب أو رشح).
- اتجاهات انسياب المياه الجوفية (التدرج الهيدروليكى ، أفقى ورأسى)، الحجم (التدفق النوعى)، المعدل (متوسط السرعة الطولية).
- التفريغ وإعادة الامتلاء.
- تداخلات المياه الجوفية والمياه السطحية ؛ مناطق تدفق المياه الجوفية إلى المياه السطحية.
- الاختلافات الموسمية للمياه الجوفية.
- استخدام المياه الجوفية:**
- مصادر المياه الجوفية الموجودة أو الممكنة كمصادر مياه الشرب.
- استخدام موقع المياه الجوفية القريب أو الموجود.

شكل ٨ - ١٠ الصفات الهيدروجيولوجية المهمة للموقع التى تستخدم لتحديد موضع الآبار.

(Mercer et al ., 1990.)

وعندما ننتقل إلى موضوع صيانة الطاقة وحماية مواردها، نجد أننا حققنا أو أنجزنا ممارسات زراعية يمكن أن تكون مفيدة وضارة في آن معاً. فعلى سبيل المثال، أصبحت نظم الحرث بغرض صيانة التربة طرقاً مألوفة في الزراعة لما ينتج عنها من تقليل فقد التربة بالانجراف بالرياح أو بالمياه، كما تؤدي إلى زيادة في كمية الاحتفاظ بالماء عندما تترك بقايا المحاصيل على سطح التربة. ومع ذلك، فإن بعض عمليات الحرث تعزز بالفعل المشكلات المرتبطة بالأعشاب الضارة، والأمراض، والحشرات، والنيوماتودا، والقوارض، والكائنات الدقيقة في التربة. والطرق البديلة مثل وسائل مكافحة البيولوجية، واستخدام أصناف مقاومة، أو العمليات الزراعية المتغيرة - قد تكون مطلوبة إلى جانب إضافة المبيدات للقضاء على المشاكل الناشئة عن عمليات الحرث بغرض الصيانة.

٨ - ٥ - ١ الإدارة المتكاملة للآفات:

الإدارة المتكاملة للآفات، المعروفة أيضاً بـ IPM؛ هي برنامج مكافحة الآفات الذي يعتمد على عدة ممارسات لكي يمنع حدوث انفجار أو تفشي أو نشأة الآفات. ومن الأفضل أن تكون هذه الممارسات متوافقة أى منسجمة مع بعضها البعض مما يزيد فعاليتها، ويتكون برنامج IPM الفعال من: (١) إعداد التربة وتجهيزها لمكافحة الآفات (حشرات، كائنات دقيقة، أعشاب ضارة)، (٢) والمعالجة التحضيرية؛ الكيماوية أو البيولوجية لمكافحة الأعشاب الضارة والحشرات، (٣) وأيضاً ملاحظة نشاط الحشرات محلياً أو إقليمياً لتحقيق إدارة زمنية أفضل، (٤) وفهم الظروف المناخية التي تساعد على نشأة وتفشي الآفات.

وفي أى برنامج IPM، يجب تنفيذ ممارسات عديدة لمنع مشكلات الآفات، وتشمل الممارسات الشائع تنفيذها في أى برنامج IPM مايلي: (١) استخدام بنور أو نباتات معتمدة خالية من الأمراض والحشرات، (٢) وتنفيذ عمليات زراعية مثل ثورة زراعية وقياسات خاصة بالصحة العامة، (٣) والتحكم في الظروف الفيزيائية (وقت الحرث،

ظروف الزراعة، درجة الحرارة والرطوبة المناسبة لظروف التخزين لكي تمنع الأمراض)، (٤) واستخدام ممارسات كيماوية (مبيدات، مُدخّنات، معالجة البذور والنباتات، واستخدام المطهرات)، (٥) وتطوير ممارسات مكافحة بيولوجية مبتكرة وجديدة مثل استخدام أصناف مقاومة للحشرات والأمراض (والمزيد من المناقشات الإضافية، انظر الفصل القادم عن وسائل المكافحة البيولوجية). وقد لا تعطى هذه الممارسات الحماية الكافية للوقاية من الآفات على مستوى الأفراد؛ وبالرغم من ذلك فإن هذه الممارسات يمكنها أن تقلل الخسارة الاقتصادية الناتجة عن مشكلات الآفات إلى أدنى حد على المستوى الجماعي.

٨ - ٥ - ٢ الوسائل البديلة لمكافحة الآفات:

اكتسبت بدائل استخدام المبيدات لمكافحة الأعشاب الضارة والحشرات شعبية كبيرة في العصور الحديثة ؛ لأنها تميل إلى استخدام مدخلات أقل، كما أنها أكثر استدامة. وتعدّ المكافحة الحيوية أحد هذه البدائل لاستخدام المبيدات، بالرغم أن برامج المكافحة الحيوية يتم تصميمها عادة لتكون متخصصة للمضيف، إلا أنها مع ذلك غير قادرة على حل مشكلات الآفات المضاعفة. وفي برنامج المكافحة الحيوية النموذجي، ينبغي أن يظل تعداد الآفة دون المستوى الذي يسبب خسارة اقتصادية. ولقد لخص Hoy عام ١٩٨٩ الطرق الثلاث الشائع استخدامها في استراتيجيات المكافحة الحيوية كمايلي:

* طرق تقليدية (وهي استيراد وتأسيس أعداء طبيعية دخيلة لمكافحة الآفات المحلية والدخيلة).

* طرق الوقاية (وهي أفعال تؤدي إلى حماية الأعداء الطبيعية، و/أو المحافظة عليها، و/أو زيادة فعاليتها).

* طرق الزيادة (وهي أفعال تؤدي إلى زيادة تعداد الأعداء الطبيعية أو زيادة التأثيرات المفيدة لها؛ وهي قد لاتعتمد على نفسها في الغذاء).

ويعتبر الإنسان هو المسئول الأول عن انتشار الأعشاب الضارة والحشرات على مستوى العالم. فمعظم الأعشاب الضارة والحشرات المزعجة جاءت نتيجة أنشطة السفر والتجارة (مثل: الشوك الروسى، عشبة القديس جون، حشيشة جونسون، عثة الغجر، الدودة الحلزونية، يرقات القمح الروسية، وهذا قليل من كثير). وتتكاثر الأعشاب الضارة والحشرات القادمة من البلاد الغريبة فى الحالات الآتية:

(١) إذا تكيفت هذه الكائنات مع البيئة الجديدة.

(٢) فى حالة عدم وجود أعدائها الطبيعية.

وأحد الأساليب لمكافحة زيادة الأعشاب الضارة والحشرات هو أن ندخل مكافحة حيوية من المنطقة الأصلية (المحلية) للآفة، والتي تستطيع أن تخفض أو تنظم الآفة إلى مستوى مقبول اقتصاديا وفنيا. ولقد أدخلت الأعداء الطبيعية للقضاء على الأعشاب الضارة والحشرات الدخيلة التي حلت محل أصناف النباتات والحشرات الأصلية.

واستُخدمت المكافحة الحيوية بنجاح فى مكافحة الأعشاب الأرضية والمائية، وهناك أمثلة تقليدية لمكافحة الأعشاب الأرضية بواسطة حشرات مفيدة تتغذى على أصناف هذه الأعشاب وليس على محاصيل زراعية مثل المكافحة الحيوية للصبّار والصبّار الشوكى المنتشرين فى أستراليا، والمكافحة الحيوية لعشبة القديس جون أو عشبة كلامات فى الولايات المتحدة، كما وجد أن الأسماك العشبية (مثل الهامور الأبيض) والأسماك غير العشبية (مثل الشبوط) تكافح الأعشاب المائية إما باستهلاكها أو استئصالها، على التوالى. ويوضح جدول ٨ - ١١ أمثلة عديدة للأعشاب الضارة الشائعة فى شمال غرب الولايات المتحدة وعوامل المكافحة الحيوية المبشرة بالنجاح فى مقاومتها.

وقد لاقت المكافحة الحيوية للحشرات أيضاً بعض النجاح، وهناك مثال للمكافحة الحيوية للحشرات هو حالة البق الدقيقى الأسترالى التي هددت أسباب الرزق لصناعة الموالح فى كاليفورنيا فى عقد ١٨٨٠. وهناك آفات أخرى تم على الأقل مكافحتها

جدول ٨ - ١١ بعض الأمثلة للأعشاب الضارة الشائعة في شمال غرب الولايات المتحدة وعوامل مكافحة الحيوية المبشرة بالنجاح في مقاومتها.

الحشيشة	الكائن الحيوى	ملاحظات
شوك كندا	<i>Orellia ruficauda</i>	تأكل اليرقات البذور من قممتها النامية.
شوك البحر المتوسط	<i>Phrydiuchus tau</i>	تنقب اليرقات التاج.
الشوكران السام	<i>Agronoterix alstroemeriana</i>	تقوم اليرقات بنزع أوراق النباتات ؛ يضعف النبات.
حشيشة القديس جون	<i>Chrysolina quadrigemina</i>	تقوم الحشرة (السوسة) بنزع أوراق النباتات، ويقل بذلك التمثيل الضوئى.
الجولق	<i>Exapion ulicis</i>	تأكل السوسة البذور، وتأكل اليرقات البالغة المجموع الخضرى.

(Burill et al., 1992.)

للمزيد من التفاصيل راجع:

جدول ٨ - ١٢ مكافحة الحيوية لبعض الحشرات الشائعة في غرب الولايات المتحدة.

الكائن الحيوى	الحشرة المستهدفة	ملاحظات
خنفساء	المن والعنكبوت	تلتهم بشراهة البيض والأجسام الطرية للحشرات.
خنفساء الأرض	الحشرات	تقترب معظم الحشرات التي توجد على سطح التربة.
البق	الحشرات والسوس.	يثقب ويمتص سوائل جسم الحشرة.
عنكبوت	الحشرات المنزلية الطائرة والزاحفة الصغيرة.	حشرات مفترشة فعالة.
دبابير	المن والحشرات الصغيرة.	طقيليات.
فطر	ثاقبات حبوب الذرة الأوروبية وحشرات المن.	مرض حشري، محاولات لإنماء الفطر لمكافحة البعوض وآفات الصوية

(Cranshaw, 1992.)

للمزيد من التفاصيل راجع:

جزئياً بواسطة حشرات مفيدة، وتشمل هذه الآفات ثاقبات حبوب الذرة والقمح الأوروبية، والذبابة المنشارية لشجرة الراقنج الأوروبية، وذبابة الفاكهة الشرقية، وهذا قليل من كثير. ويمكن تحقيق مكافحة حيوية ناجحة للآفات على مستوى صغير أيضاً، كما في الحدائق أو في المزارع الصغيرة. ويبين جدول ٨ - ١٢ بعض الأمثلة الأكثر انتشاراً للمكافحة الحيوية في الزراعة على مستوى صغير في غرب الولايات المتحدة.

المراجع :

- Bollag, J. M. and Liu, S. Y., Biological transformation processes of pesticides, in *Pesticides in the Soil Environment: Processes, Impacts, and Modeling*, Cheng, H. H., Ed., Soil Science Society of America, Madison, WI, 1990, 103.
- Boyd, S. A., Jaynes, W. A., and Ross, B. S., Immobilization of organic contaminants by organo - clays: application to soil restoration and hazardous waste containment, in *Organic Substances and Sediments in Water*, Baker, R. S., Ed., Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1991, 181.
- Burill, L. C., William, R. D., Parker, R., Boerboom, C., Callihan, R. H., Eberlein, C., and Morishita, D. W., *Pacific Northwest Weed Control Handbook*, Agricultural Communications, Oregon State University, 1992.
- Chiou, C. T., Freed, V. H., Schmedding, D. W., and Kohnert, R. L., *Environ. Sci. Technol.*, 11, 475, 1977.
- Cranshaw, W., *Pests of the West*, Fulcrum Publishing, Golden, CO, 1992.
- Cullimore, D. R., Interaction between herbicides and soil microorganisms, *Residue Rev.*, 35, 65, 1971.
- Harris, J. C., Rate of hydrolysis, in *Handbook of Chemical Property Estimation Methods: Environmental Behavior of Organic Compounds*, Lyman, W. J., Reehl, W. F., and Rosenblatt, D. H., Eds., McGraw - Hill, New York, 1982a, chap. 7, 48.
- Harris, J. C., Rate of aqueous photolysis, in *Handbook of Chemical Property Estimation Methods: Environmental Behavior of Organic Compounds*, Lyman, W. J., Reehl, W. F., and Rosenblatt, D. H., Eds., McGraw - Hill, New York, 1982b, chap. 8, 43.

- Hoy, M. A., Integrating biological control into agricultural IPM systems: reordering priorities, Proc. Natl. integrated pest Manage Symp./ Workshop, Las Vegas, NV, Commun. Serv. NY, State Agricultural Experimental Station, Cornell University, Geneva, NY, 1989, 41.
- Mabey, W. and Mill, T., J. phys. Chem., 7, 383, 1978.
- Madhun, Y. A. and Freed, V. H., Impact of pesticides on the environment, in Pesticides in the Soil Environment: processes, impacts, and Modeling, SSSA Book Series No. 2, Cheng, H. H., Ed., Soil Science Society of America, Madison, WI, 1990, 429.
- Marathon - Agricultural and Environmental Consulting, Video cassettes — Fate of Pesticides in the Environment, Box 6969, Las Cruces, NM 88006, 1992.
- Mercer, J. W., Skipp, D. C., and Giffin, D., Basics of Pump - and Treat Ground - Water Remediation Technology, U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/8-90/003, Ada, OK, 1990.
- Miller, D. W., Ed., Waste Disposal Effects on Ground Water, Premier Press, Berkeley, CA, 1980, 512.
- Office of Technology Assessment, Protecting the Nation's Groundwater from Contamination, U.S. Congress, Office of Technology Assessment, OTA - 0 - 233, U.S. Printing Office, Washington D.C., 1984.
- Parsons, D. W. and Witt, J. M., Pesticides in the Groundwater in the United States of America: A Report of a 1988 Survey of State Lead Agencies, Oregon State University Extension Service, Corvallis, OR, 1988.
- Shoemaker, C. A., Integration of environmental concerns into IPM programs, Proc. Natl. IPM Symp./Workshop, Las Vegas, NV, Commun. Serv. NY, State Agricultural Experimental Station, Cornell University, Geneva, NY, 1989, 121.
- Thomas, R. G., Volatilization from water, in Handbook of Chemical Property Estimation Methods: Environmental Behavior of Organic Compounds, Lyman, W. J., Reehl, W. F., and Rosenblatt, D. H., Eds., McGraw - Hill, NY, 1982, chapter 15, 34.
- Weber, J. B. and Miller, C. T., Organic chemical movement over and through soil, in Reactions and Movement of Organic Chemicals in Soils, Sawney, B. L. and Brown, K., Eds., Soil Science Society of America, Madison, WI, 1989, 305.

مراجع مساعدة :

- Cheng, H. H., Ed., **Pesticides in the Soil Environment: Processes, Impacts, and Modeling**, Soil Science Society of America, Madison, WI, 1990.
- Barcelona, M., Wehrmann, A., Keely, J. F., and Pettyjohn, W. A., Eds., **Contamination of Ground Water: Prevention, Assessment, Restoration**, Noyes Data Corp., Park Ridge, NJ, 1990, 213 pp.
- Calvet, R., Adsorption of organic chemicals in soils, *Environ. Health Perspect.*, 83, 145, 1989.
- Lyman, W. J., Reehl, W. F., and Rosenblatt, D. H., Eds., **Handbook of Chemical Property Estimation Methods: Environmental Behavior of Organic Compounds**, McGraw - Hill, New York, 1982.
- Smith, M. A., Ed., **Contaminated Land: Reclamation and Treatment**, Plenum Press, NY, 1985, 433 pp.
- Thomas, R. G., Volatilization from soil, in **Handbook of Chemical Property Estimation Methods: Environmental Behavior of Organic Compounds**, Lyman, W. J., Reehl, W. F., and Rosenblatt, D. H., Eds., McGraw - Hill, New York, 1982, chap. 16, 50.
- Wolfe, N. L., Mingelgrin, U., and Miller, G. C., Abiotic transformations in water, sediments, and soil, in **Pesticides in the Soil Environment: Processes, Impacts, and Modeling**, cheng, H. H., Ed., Soil Science Society of America, Madison, WI, 1990, 103.

الفصل التاسع

الدورات البيوجيوكيميائية وإدارة الأراضي

٩ - ١ الدورات البيوجيوكيميائية والبيئة:

جميع العناصر الغذائية والعناصر النادرة التي نوقشت في الفصول السابقة (النتروجين، الفوسفور، الكبريت، والعناصر النادرة)، وكذلك أيضاً المبيدات والملوثات التي يحملها الهواء التي نوقشت في الفصل الثامن والفصل العاشر، جميعها يمكن أن يحدث لها تحولات فيزيائية، وكيميائية، وبيولوجية في الأراضي. ويمكن لهذه التحولات أن تزيد التأثير البيئي لكل واحد من هذه العناصر أو المركبات، أو تقلله، أو حتى لا يكون لها تأثير عليه. ويمكن تعريف الدورة البيوجيوكيميائية بأنها وصف تصوري للآليات التي بواسطتها يتحول عنصر ما أو مركب ما داخل نظام تحت الدراسة، ويشمل ذلك الوسائل التي بواسطتها يتم تبادل الأماكن للصور المختلفة للعنصر أو المركب بين الطور الصلب، والطور السائل، والطور الغازي لهذا النظام. ولا يقتصر التدوير البيوجيوكيميائي بالطبع على بيئة التربة، ولكنه يشمل المواد الجيولوجية، والكائنات البيولوجية، والهواء، والمياه، والتي هي في الأساس عالمية في طبيعتها، ومع ذلك، فإننا غالباً ننظر إليها ونحاول أن نديرها بمقياس أصغر (أي بمستوى أصغر)، كما هو الحال في مستجمع الأمطار أو حتى في داخل مدينة أو مزرعة، وهذه الدورات لا تلخص فقط العمليات الرئيسية التي تشملها، ولكنها أيضاً تزودنا برؤية عامة للعوامل البيئية التي تتحكم في كل تحول. وتعتبر دورة النتروجين في التربة وبورته العالمية، الموضحتان سابقاً في شكل ٤ - ١، وفي شكل ٤ - ٢، مثالين جيدين للمقاييس المختلفة للتدوير البيوجيوكيميائي لعنصر مهم في إدارة الأراضي؛ فنحن

نفهم الأنواع العامة للعمليات الفعالة في دورة النتروجين العالمية، ونفهم أيضاً الكثير من تأثيراتها البيئية (مثل: تلوث المياه الجوفية، واستنفاد الأوزون، والمطر الحامض)، ونسعى إلى معالجة دورة النتروجين في الأراضي لكي نقلل هذه التأثيرات السلبية إلى أدنى حد.

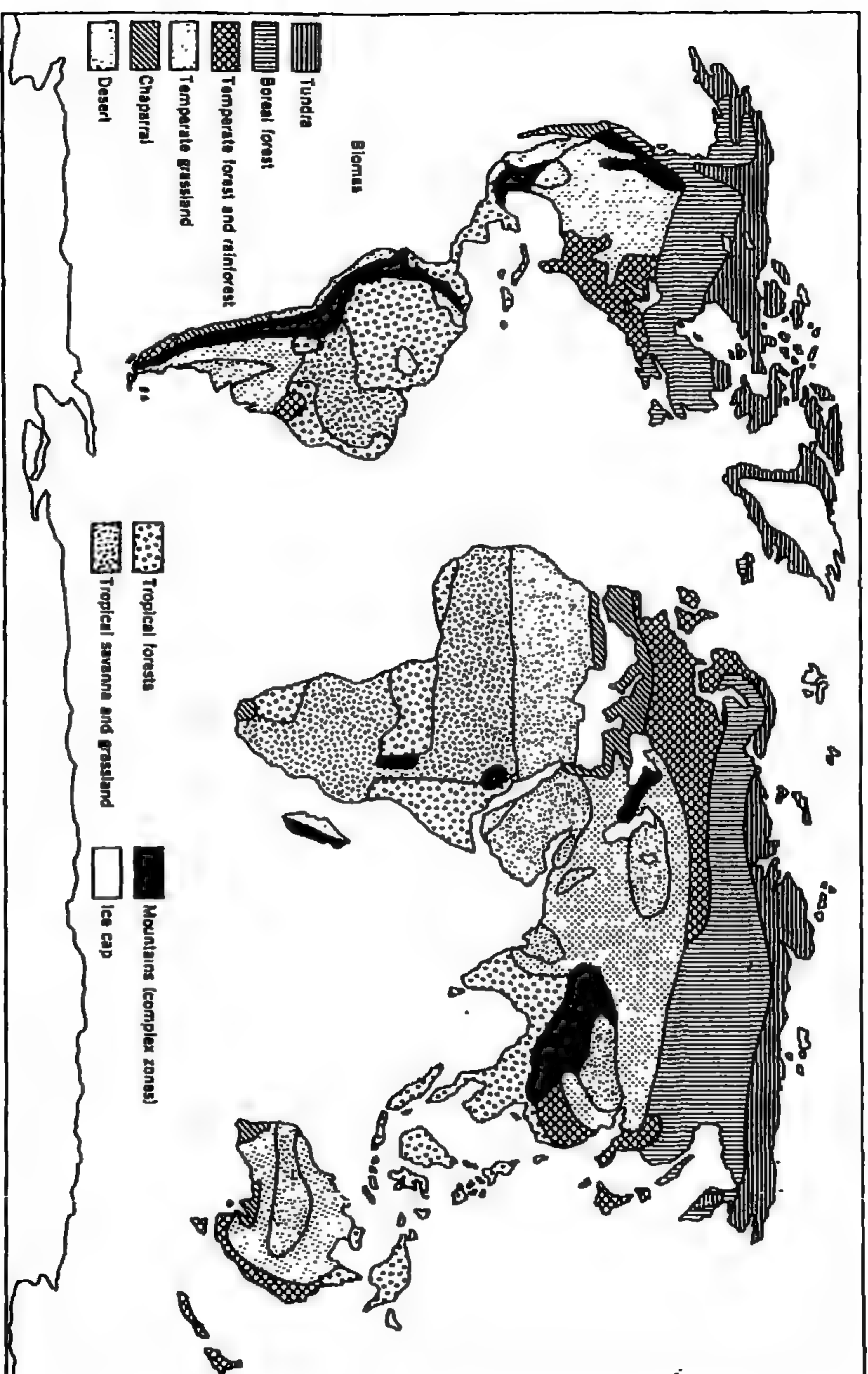
ومن وجهة نظر علم الأراضي، نحن نرغب على وجه التحديد أن نستخدم معلوماتنا عن الدورات البيوجيوكيميائية لكي نراقب ونتحكم في انتقال مكونات التربة، وكذلك مصيرها البيئي. ولقد وصفنا في الفصول السابقة الكثير من هذه التحولات الكيميائية والبيولوجية (مثل: الادمصاص - عكس الادمصاص، الترسيب، المعدنة - التثبيت، التأكسد - الاختزال) كما وصفنا أيضاً العوامل التي تؤثر في انتقال عنصر ما أو مركب ما بين الأطوار المختلفة للدورة عن طريق الغسيل، والانجراف، وسريان المياه، والتطاير. وبالتالي، تصبح الدورات البيوجيوكيميائية في الغالب هي الأساس لتصميم ونمذجة الجهود التي تسعى إلى تحديد وتعريف المصير الأكثر احتمالاً لعناصر النبات الغذائية، والعناصر غير الضرورية، أو الجزيئات العضوية. وعن طريق تطوير معرفتنا للدورات البيوجيوكيميائية، فإننا نأمل أن نُحدِّد ممارسات الإدارة التي يمكن أن تقلل إلى أدنى حد التدهور البيئي المحتمل. ونحن نعتمد على البحوث العلمية لنعرف التحولات الممكنة والأكثر احتمالاً التي يمكن أن تحدث في الأراضي. ومن هذه البحوث العلمية نبحث عن ممارسات الإدارة التي توفر لنا بعض المقاييس للتحكم في هذه التحولات، وذلك لكي نُعظِّم فوائدها، ونُقلل أخطارها إلى أدنى حد ممكن. ولعلَّ إحدى الخطوات الحرجة في هذه العملية هي التأكيد على أن أنواع التحولات الممكنة ومعدلاتها لمعظم العناصر والمركبات تتوقف فقط على مدى الاختلاف في خواص النظام الذي تقع فيه هذه العناصر والمركبات. وكنتيجة لذلك، فإننا لا ينبغي أن ندير كل تفاعل بيوكيميائي محتمل، وكذلك عملية الانتقال (وفي الغالب لا نستطيع ذلك)، وبدلاً من هذا ينبغي أن نضع أولوية لجهودنا. وهناك أمثلة كثيرة لهذا. فتعتبر التحولات التي تحدث فقط تحت ظروف لاهوائية (مثل عكس التآزت) شائعة في الأراضي الرطبة، ولكنها بالتأكيد غير محتملة في أراضي المنطقة الجافة، كما يُعد غسيل الفوسفور نادراً في معظم الأراضي الزراعية، ولكنه قد يصبح مشكلة في الأراضي الرملية المستخدمة للرعي

الكثيف بمياه الصرف الصحي، كما تكون أعراض نقص العناصر النادرة أقل شيوعاً في المناطق الرطبة وذلك لأن الغسيل الشديد للكاثيونات القاعدية ينتج عنه أراضى حامضية، وليست قاعدية، ودرجة نوبان أكبر لمعظم المعادن، وقد يحدث التحلل البيولوجي للملوثات العضوية بسرعة في الطبقات السطحية للأراضى، ويكون بطيئاً في طبقات الأرض السفلية (التي تقع تحت التربة مباشرة)؛ حيث وجد أن كثيراً من العناصر الغذائية اللازمة للكائنات الدقيقة والمتضمنة في عملية التحلل توجد بتركيزات منخفضة جداً في الطبقات السفلية للأرض. وتعتبر المعرفة الجيدة والتقدير الكمي إلى أكبر درجة ممكنة للقيود الموضوعة على التدوير البيوجيوكيميائي لعنصر ما في أنظمة مختلفة خطوة أولى مهمة في تطوير ممارسات إدارة بيئية سليمة للأراضى.

وبصراحة، بالرغم من اهتمامنا بالتأثيرات الكثيرة الممكنة للوث محتمل على البيئة، إلا أنه تنقصنا المعرفة العلمية، والتقنية، أو الوسائل التي نتحكم بها في كل تحول ممكن في داخل الدورة البيوجيوكيميائية. وكذلك تتطلب منا أولوية جهود الإدارة أن نركز فهمنا لهذه الدورات مع تقويم «الخطر» البيئي المصاحب لكل تحول (راجع المناقشة الكاملة لعملية تقويم الخطر في الفصل الحادى عشر). وسوف يناقش هذا الفصل بعض الاختلافات بين الدورات البيوجيوكيميائية في الأراضى الطبيعية، والزراعية، والحضرية، والمفككة؛ وسوف يوضح كيف نستخدم في الوقت الحالى معرفتنا عن هذه الدورات والمخاطر المرتبطة بها لإدارة الأسمدة، والمخلفات العضوية، والتحلل البيولوجي للملوثات العضوية.

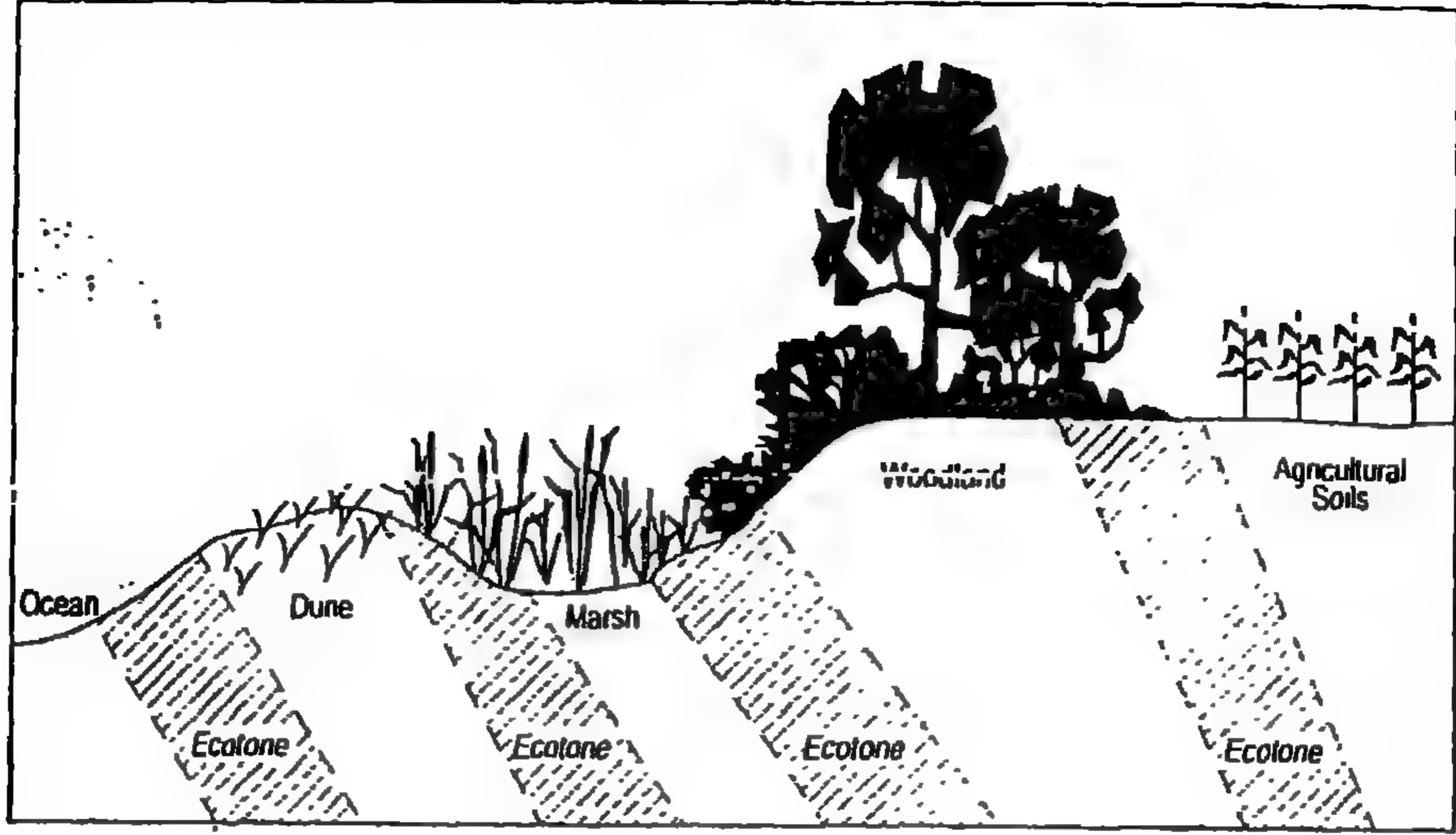
٩ - ١ - ١ الدورات البيوجيوكيميائية: المناطق الحيوية، والمجتمعات الحيوية، والنظم البيئية:

ربما من وجهة النظر الأعم التي يمكن أن تؤخذ في الحسبان، عند اعتبار أهمية الدورات البيوجيوكيميائية، هي ما يختص بالمنطقة الحيوية، وهي أنها منطقة جغرافية



(Council on Environmental Quality , 1989.)

شكل ٩ - ١ توزيع المجتمعات الحيوية Biomes الرئيسية في العالم.



شكل ٩ - ٢ تداخل النظم البيئية. يوضح الشكل المناطق الانتقالية Ecotones التي توجد بين النظم البيئية الفردية.

يتحدد فيها استغلال الأراضي بالموارد الطبيعية الموجودة، وبناء على ذلك، يتوقف استغلال الأراضي فقط على الخواص المميزة للمنطقة الخاصة بالأراضي، والجيولوجيا، والطبوغرافيا، والمناخ. ويعتبر المجتمع الحيوي تصوراً قريباً من هذا؛ فهو منطقة بيئية بها أنواع متجانسة من الكائنات الحية والبيئات الفيزيائية. ويوضح شكل ٩ - ١ أهم المجتمعات الحيوية في العالم. وباعتماد على خواص كل مجتمع حيوي (مثل: التندرا، والغابات المعتدلة، والصحاري) نستطيع أن نتوقع نموذجاً مميزاً للتدوير البيوجيوكيميائي للعناصر، ونستخدم البحوث والإدارة لكي نحدد الاستخدام المناسب أو غير المناسب للأراضي. وعلى المستوى الأصغر، ينبغي أن نأخذ أيضاً في الاعتبار العلاقات المتبادلة والتحويلات بين النظم البيئية المعروفة في داخل أي مجتمع حيوي، عندما نقوم بتطوير ممارسات إدارة الأراضي بأدنى حد من التأثير على البيئة (شكل ٩ - ٢). ويعني مصطلح النظام البيئي أشياء كثيرة لأناس كثيرين، والتعريفات

الفضفاضة هي في الغالب مشابهة لتلك المستخدمة بالنسبة للمناطق الحيوية، ولكن بمستوى أصغر وأكثر سهولة في إدارته ، وهذه التعريفات تشير إلى المناطق الجغرافية التي تتميز بمجتمعات حيوية ثابتة ومتجانسة بدرجة معقولة، بما في ذلك المواد غير الحية مثل التربة، والهواء، والماء. وفيما يخص أهدافنا، فإن النظام البيئي يشير إلى منطقة لها بيئات فيزيائية وحيوية متميزة بدرجة كافية لتكون قابلة للتكيف مع الأساليب المشابهة الخاصة بإدارة استغلال الأراضي. ومما لا يدخل في موضوع هذا الكتاب أن نقوم بوصف لجميع المجتمعات الحيوية والنظم البيئية الممكنة وتحولات المادة والطاقة التي تحدث بين هذه المناطق. لكننا سنركز بصفة أساسية على العلاقة بين التدوير البيوجيوكيميائي في «الأراضي التي تمت إدارتها»، وهي تلك الأراضي المستخدمة للزراعة أو للتخلص من المخلفات، وتأثيراتها الممكنة على «النظم البيئية الطبيعية» المجاورة مثل الأراضي الرطبة.

٩ - ١ - ٢ الدورات البيوجيوكيميائية: النظم البيئية المتفاعلة والمناطق الانتقالية:

يقع كثير من النظم البيئية الطبيعية مثل الغابات النجدية (المرتفعة عن الأرض)، والأراضي الرطبة، والصحارى على مقربة كبيرة من الأراضي المستخدمة في الإنتاج الزراعي، والمدن والمصانع، ومناطق التعدين، ونظم النقل، ومناطق التخلص من المخلفات. وتتطلب معرفة حدوث تأثير متبادل بين النظم البيئية المتجاورة فهماً جيداً للتدوير البيوجيوكيميائي على مستوى اقليمي أكبر. وتعتبر مناطق الإنتاج الزراعي والأراضي الرطبة الطبيعية الواقعة بالقرب من المناطق الحضرية مثلاً جيداً للنظم البيئية المتفاعلة. فتقوم الزراعة بتوفير الغذاء والكساء للبلدية وفي الغالب تعتمد على قبول وإدارة كثير من المخلفات الناتجة من السكان والصناعات في النظام الحضري. وتوفر المناطق الحضرية السوق للمنتجات الزراعية، والبنية التحتية المالية والصناعية التي تغذي الأعمال الزراعية، ومخرجات النظام البيئي، الأخرى مثل التربية والتعليم، والبحث العلمي، وأنشطة الاستجمام، والحاجيات (البضائع) والخدمات ، وتؤدي الأراضي الرطبة وظائف مهمة كثيرة للنظامين البيئيين السابقين. ومن بين هذه

الوظائف الأخرى الكثيرة، أنها (أى الأراضي الرطبة) تعمل كمناطق فلترة طبيعية للمياه السارية الزراعية والحضرية؛ وهو ما يعدّ مهماً بوصفه وسيلة لاستقبال وحفظ المياه خلال أوقات العواصف، وبالتالي تمنع الفيضان؛ وتحافظ على تنوع مواطن الحيوانات البرية والنباتات.

وعلاوة على ذلك، نجد أن ثبات النظم البيئية الطبيعية يمكن أن يتأثر سلباً بمدخلات تعزى إلى أنشطة الإنسان، ومثال على ذلك هو القلق الراجع لتأثير الترسيب الحامض الناشئ عن احتراق الوقود الحجري على بيئة الغابات والبحيرات، وبالمثل، فنحن نستخدم، فى بعض الحالات، أنظمة بيئية طبيعية لنخفف أو نُسكّن التأثير البيئي للأنشطة الأخرى، كما هو الحال عندما نعتمد على الأراضي الرطبة لتقوم بتنقية المياه الملوثة من مياه الأمطار السارية على الأراضي الزراعية، أو من وحدات معالجة مياه الصرف الصحي، أو من الصرف السطحي أو الجوفي للمناجم. وعندما تتفاعل الأنظمة البيئية المستدامة للأراضي الرطبة مع النظم البيئية الحضرية تصبح عندئذ قضية بيئية. وفى أى من هذه الأمثلة، فإن طبيعة التدوير البيوجيوكيميائي للعناصر (مثل: النتروجين، الفوسفور، والكبريت) و/أو المركبات العضوية (مثل المبيدات، والمخلفات العضوية الصناعية) يجب أن يتم معرفتها فى الأنظمة البيئية المختلفة إذا كنا فى سبيل تطوير استراتيجيات إدارة تدعم كلا منهما.

والخلاصة، لى نحافظ على كل من النظم البيئية الطبيعية وتلك التى يصنعها الإنسان، يجب أن نفهم طبيعة الدورات البيوجيوكيميائية الداخلية الموجودة، وكيف يمكن لأنشطة الإنسان أن تُغيّر تدوير كل نظام وربما ثباته أيضاً. ونحتاج كذلك أن نكون على وعى وعلى معرفة بالحدود التى توجد بين الأنظمة البيئية (الطبيعية والتى من صنع الانسان) التى تمنع أو تسهل التحولات والانتقال بين المناطق الجغرافية التى نستطيع إدارتها. وتعنى الطبيعة المعقدة لمعظم الأنظمة البيئية أن هذه الحدود فى الغالب ليست فاصلة أو محددة. ولذلك نستخدم المصطلح المنطقة الانتقالية ecotone ليدل على المناطق الانتقالية الموجودة بين الأنظمة البيئية. وتعتبر الأراضي الرطبة مثلاً جيداً للمنطقة الانتقالية، وهى نظام بيئي له بعض صفات المناطق التى على حدوده مثل الغابة النجدية، والتل الرملى (شكل ٩ - ٢). وتشمل الأمثلة الأخرى للمناطق الانتقالية:

الفراغات الخضراء، والحدائق العامة، وغابات الأشجار الخشبية، والأراضي الرطبة المتخللة لمنطقة حضرية كثيفة السكان، والتي تخفف كثيراً من التأثيرات السلبية للبيئة الحضرية (مثل: الضوضاء، المرور، الروائح، الحرارة، سريان مياه العواصف).

وسوف يركز الجزء الأخير من هذا الفصل على أمثلة لكيفية توظيف معلوماتنا عن التدوير البيوجيوكيميائي للعناصر الغذائية والعناصر النادرة لتطوير برامج إدارة سليمة للبيئة تهدف إلى زيادة إنتاجية الأراضي وثبات النظام البيئي ، وسوف يتضمن الجزء الأخير من هذا الفصل أيضاً قسماً موجزاً عن العلاج الحيوي، ليوضح أسلوب التعامل المختلف نوعاً ما لإدارة الدورة البيوجيوكيميائية في حالة تدمير نظام بيئي بواسطة تلوث على مستوى كبير.

٩ - ٢ إدارة الدورات البيوجيوكيميائية:

يُعد الرقم المطلق للدورات البيوجيوكيميائية الفردية الموجودة في التربة فقط رقماً مذهلاً؛ حيث يوجد ١٠٣ عنصراً في الجدول الدوري، ولكل عنصر دورة خاصة. ويتم تدوير بعض العناصر (C, H, O, N, P, S) بسرعة وفي كل مكان ، وذلك لأنها مكونات للكائنات الحية (عناصر نشوء الكائنات الحية)؛ وعناصر أخرى مثل العناصر النادرة يتم تدويرها بمعدلات أبطأ وفي مناطق جغرافية معينة. وتنتج عشرات الآلاف من المركبات العضوية التخليقية بكميات كبيرة كل عام عن طريق الصناعة ، ويدخل الكثير منها بيئة التربة كنواتج (مثل المبيدات)، أو كمكونات لمياه الصرف الصحي والصرف الصناعي أو هما معاً، أو كمقذوفات تسقط أو تتسرب مصادفة أو نتيجة حادثة خلال عملية الانتقال والتخزين. وتعتبر كل دورة فردية معقدة، وفي الغالب ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالتحويلات الحادثة بواسطة العناصر الأخرى أو المركبات الأخرى الموجودة، فعلى سبيل المثال، يمكن أن يؤثر تدوير النتروجين في التحلل البيولوجي في الأراضي الملوثة بالكيمائيات العضوية؛ لأن النتروجين عنصر غذائي ضروري للكائنات الدقيقة التي تحلل المركب الكيماوي. كما يؤثر تدوير الكريون في درجة تيسر عناصر النتروجين، والفوسفور، والكبريت للنباتات، وكذلك يؤثر في حركة العناصر النادرة في الأراضي.

وكما سرنا قدماً نصل إلى الحقيقة التي تعنى أن المنطقة الحيوية أو النظام البيئي الفردى الذى تقع فيه الدورات يحدّد نوع العمليات فى داخل الدورة التى تسود فى تلك الأراضى. وبالفعل، فإن أحد الجوانب الأكثر تحدياً فى إدارة التربة؛ إما للأغراض الزراعية أو للأغراض البيئية، هى طبيعة الموقع الخاصة بالنسبة لبرامج الإدارة المتعددة، والأمثلة على ذلك كثيرة: فنحن لا نستطيع أن نقوم بإدارة السماد النتروجينى بنفس الطريقة بالضبط فى جميع الأراضى بسبب التفاعلات بين نوع التربة وفواقد النتروجين ، كما أن إستراتيجية الإصلاح التى تستطيع بنجاح إعادة زراعة منجم تالف فى جنوب شرق الولايات المتحدة قد تفشل كلياً فى جبال كولورادو بسبب الاختلافات المناخية، وأيضاً فإن تشجيع وتعزيز التحلل البيولوجى للجاذولين المتسرب من خزانات التخزين الجوفية (تحت الأرض) قد يكون ممكناً فى نفس المكان فى ولاية ما، بينما فى ولاية أخرى قد يتطلب الحفر والحرق. وإذا كنا قد تعلمنا أى شئ عن إدارة الأراضى ؛ فالحقيقة أن إدارة التدوير البيوجيوكيميائى تتطلب ليس فقط فهماً علمياً جيداً للعمليات الحادثة فى الدورة، ولكنها تتطلب أيضاً علاوة على ذلك إبداعاً وتجديداً. وبالفعل، لا يمكن أن ندعى، بأية حال، أننا نقوم بإدارة هذه الدورات، لكننا ببساطة نعالج ببراعة عدداً محدوداً من العوامل لى نعيد توجيه واحد أو أكثر من العمليات إلى صالحنا ، وربما يكون هذا سبباً فى أن كثيراً من الأفراد يعتبرون علم الأراضى البيئى فرعاً علمياً من المعرفة ممتعاً ومشوقاً؛ فهو يعطى فرصة لتكثيف العلوم الأساسية (كيمياء الأراضى، وفيزياء الأراضى، وميكروبيولوجيا الأراضى) وكذلك المعرفة العملية مع المشاكل المهمة والصعبة التى تواجه مجتمعنا.

وفى الأقسام التالية سنقوم بوصف بعض الأساليب المستخدمة فى إدارة الدورات البيوجيوكيميائية تحت ظروف «العالم – الواقعية». وسندرس أيضاً إدارة العنصر فى المزارع الخالية من الإنتاج الحيوانى وفى المزارع التى بها إنتاج حيوانى، وسندرس أيضاً إدارة العنصر فى حالة استخدام مياه الصرف الصحى فى إنتاج المحاصيل، وتحولات العنصر فى الأراضى الرطبة، بالإضافة إلى دراسة العلاج البيولوجى لمركب عضوى كيماوى انساب فى داخل التربة. ويمكن تعميم الأساليب المستخدمة، وفى الغالب تختلف هذه الأساليب من نظام بيئى إلى آخر. وتمثل معظم

هذه الأساليب الجهود التعاونية التي تتم بين المجموعات العديدة من العلماء المختلفة في فروع الدراسة، وتعتبر هذه صفة مميزة لجميع برامج الإدارة الجيدة للأراضي.

٩ - ٢ - ١ إدارة العنصر الغذائي في المزارع التي بها إنتاج حيواني وفي المزارع التي بدون إنتاج حيواني:

تبدأ إدارة العنصر الغذائي في المزرعة بالتقدير الكمي للميزان الحالي بين مدخلات العنصر الغذائي إلى المزرعة وبين مخرجات العنصر الغذائي من المزرعة. وفي الأساس، فإننا نسعى إلى تقدير ما إذا كانت ممارسات الزراعة تزيد بعض التحولات في الدورة البيوجيوكيميائية بدرجة كبيرة، وتؤدي إلى تأثير سلبي على النظام البيئي المجاور أو لا، وكما هو موضح سابقا في شكل ٥ - ١٨، تشمل مدخلات العنصر الغذائي إلى المزرعة: الأسمدة، والمخلفات العضوية (مثل السماد البلدي للحيوانات أو مياه الصرف، وحمأة الصرف الصحي، والأسمدة العضوية الصناعية «الكبوست»)، والعلف؛ وتشمل أيضا مدخلات العنصر الغذائي إلى المزرعة المساهمات الطبيعية من الأراضي، ومياه الري، والترسيب الجوي. وتزال العناصر الغذائية من المزرعة في حبوب المحاصيل، والعلف، وعن طريق عمليات مثل الغسيل، وسريان المياه، وعكس التآز، والتطاير. ومن الناحية العملية، يوجد في معظم الحالات الزراعية عدد محدود فقط من الدورات البيوجيوكيميائية «يتم بالفعل إدارتها» بواسطة المزارعين أو بواسطة هؤلاء المختصين بالأعمال الاستشارية والنصح للمزارعين. ولقد أوضح البحث الزراعي أن دورات العناصر الغذائية السريعة التأثير والأكثر أهمية، من وجهة نظر إنتاج المحاصيل، هي دورات: النتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم. ويجب أن تؤخذ أيضا في الاعتبار دورة الكربون بسبب دور الكربون في التحكم في عملية معدنة أو تثبيت النتروجين والفوسفور، ومع ذلك، فمن النادر أن يقوم المزارعون بإدارة تدوير الكربون في الأراضي. وتؤكد الإدارة السليمة لرقم حموضة التربة من خلال عملية إضافة الجير عادة أن دورات الكالسيوم والمغنسيوم توفر كميات كافية من هذه العناصر الغذائية لنمو النبات بدون تأثيرات سامة من الكاتيونات الحامضية (الهيدروجين، والألومنيوم،

والمنجنيز)، وعادة تلقى دورات الكبريت والعناصر النادرة اهتماماً أقل بالنسبة لإدارة المحاصيل عدا في ظروف محلية معينة معروفة جيداً. وعلى سبيل المثال، فإن نقص الكبريت واستجابة المحصول المعنوية لإضافات أسمدة الكبريت أكثر شيوعاً في المناطق الرطبة في الأراضي الرملية العميقة، وعادة يقتصر نقص العناصر النادرة (Fe, Mn, Zn) على الأراضي القاعدية أو الأراضي التي تلقت كميات زائدة من الجير، ويسود نقص النحاس في الأراضي المرتفعة في محتواها من المادة العضوية.

ميزانية العنصر الغذائي: هي صورة كمية الدورة البيوجيوكيميائية، وهي تُقدَّر عما إذا كانت تؤدي ممارسات الإدارة الحالية للمزرعة إلى نقص أو زيادة في العنصر الغذائي. وتنشأ ميزانية العنصر الغذائي عن طريق: أولاً؛ تقدير احتياجات المحصول من العنصر الغذائي عند محصول واقعي. وثانياً؛ يتم تقدير مساهمات التربة بالعناصر الغذائية بواسطة برنامج الاختبارات الشاملة للتربة، وهذا قد يشمل أيضاً اختبار تحت التربة بالنسبة لبعض العناصر التي قد توجد تحت «طبقة المحراث»، وبالتحديد داخل منطقة جنور المحاصيل. ويعتبر الكبريت مثلاً جيداً لعنصر غذائي حيث يُعدّ اختبار تحت التربة مهماً له. ولقد أوضحت جميع الدراسات أن صورة الكبريتات SO_4^{2-} هي الصورة الوحيدة للكبريت التي ترشح إلى أعماق متوسطة في الأراضي، وقد تعتبر المستودع الاحتياطي للكبريت الميسر للنبات بمجرد أن تنفذ الجنور إلى عمق ٣٠ - ٦٠ سم. وتعطى نتائج اختبارات التربة ليس فقط تقدير كمية العنصر الغذائي الموجود في التربة في صورة ميسرة للنبات، ولكنها تعطى أيضاً احتمال استجابة المحصول الاقتصادية للتسميد بهذا العنصر الغذائي ومعدل العنصر الغذائي اللازم للحصول على النمو الأمثل لمحصول معين. والفرق بين احتياجات المحصول من العنصر الغذائي وتلك الكمية الميسرة من التربة تمثل الكمية التي يجب أن تضاف، ويجب أن تتوافر من مصادر خارجية. وعند هذه النقطة فإن أية مصادر معنوية أخرى لمدخلات العنصر الغذائي - مثل تلك المتوفرة في مياه الري - يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند إعداد ميزانية العنصر.

وبالنسبة للمزارع التي ليس بها إنتاج حيواني، فإن الخطوة الأخيرة في عملية ميزانية العنصر الغذائي هي تقدير أفضل مصدر اقتصادي للعناصر الميسرة، وكذلك تقدير أفضل تقنية إضافة من ناحية الكفاءة. وبالرغم من ذلك، إذا كان هناك مزرعة بها تسهيلات إنتاج حيواني كبيرة (مثل إنتاج الدواجن أو قطع ماشية)، فإن الخطوة التالية هي حساب كمية العناصر الغذائية الميسرة للمزرعة من مخلفات الحيوانات، طالما أن هذه المواد يضاف معظمها في الغالب إلى أراضي المحاصيل. والطرق التي تستخدم لتقدير كمية النتروجين الميسر من هذه المخلفات موضحة في الفصل الرابع. وبالرغم من قلة المعلومات الميسرة عن معدل انطلاق العناصر الأخرى من المخلفات أو الأسمدة الحيوانية، فإنه في معظم الحالات توجد تقديرات لمحتوى العنصر الغذائي في الأسمدة الحيوانية لدرجة أن المزارعين يمكنهم ضبط الإضافات السمادية عن طريق تسجيل العناصر الغذائية في السماد الحيواني لحسابهم، كما هو موضح في جدول ٩ - ١ بالنسبة لسماد الدواجن، وهناك معلومات تفصيلية عن محتوى العناصر الغذائية في الأسمدة الحيوانية موجودة في مصادر كثيرة مثل:

Livestock Waste Management (1983).

جدول ٩ - ١ مثال للعناصر الغذائية المعتمدة المستخدمة لأسمدة الدواجن (كجم / ميجا جرام).

ظروف السماد	مواد صلبة (%)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Mn	Cu	Zn
سائل	٥	٥	٤	٢	٣	T	T	T	T	T
رطب هش	٥٠	٢٠	٢٠	١٠	٣٥	٣	٢	٠.٢	٠.٢	٠.٢
جاف	٨٥	٤٥	٣٥	٢٠	٧٠	١٠	٤	٠.٥	٠.٥	٠.٥

(Pennsylvania State University, 1983.)

T = آثار

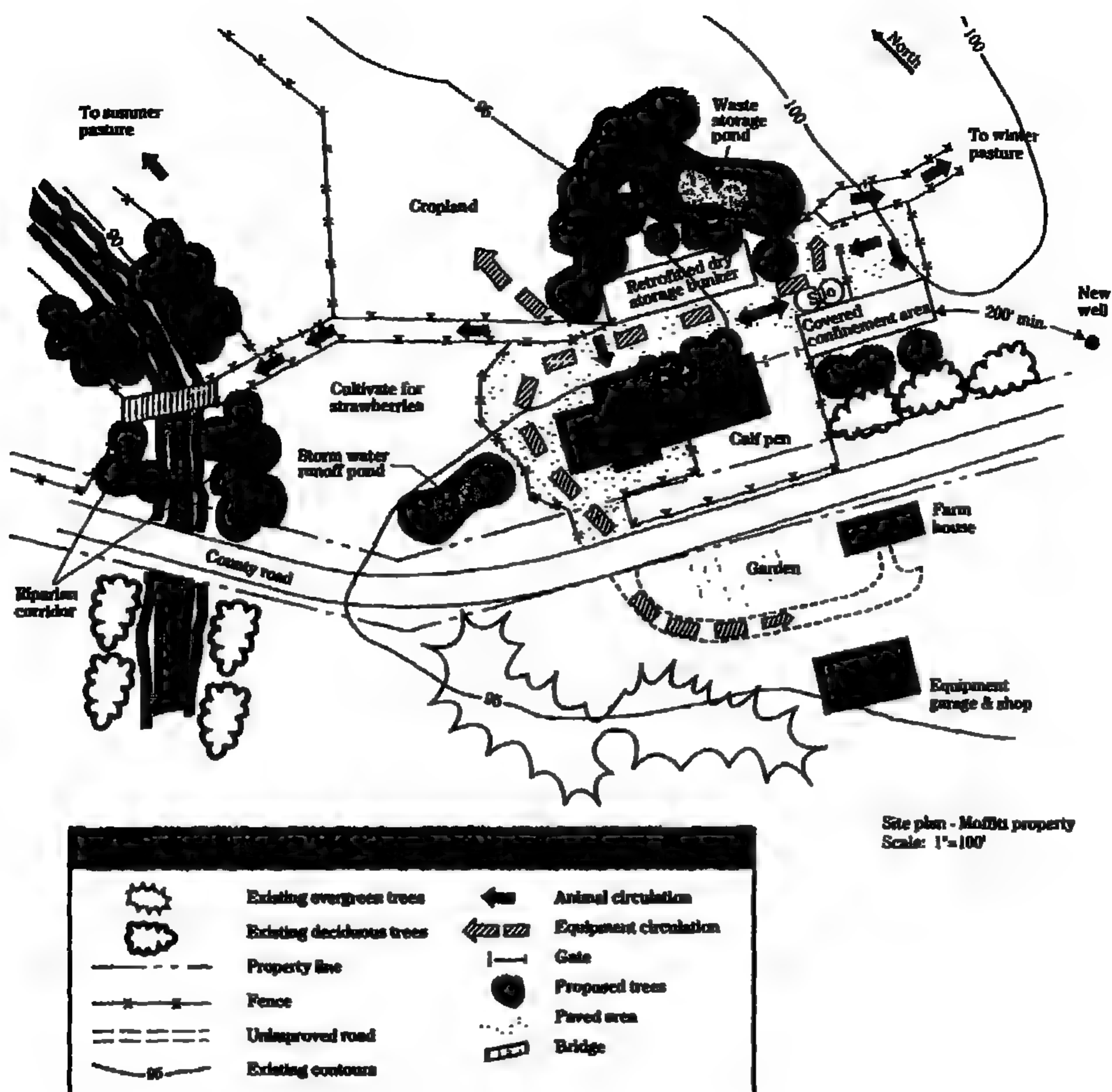
وفى حالات كثيرة، ينتج عن استخدام المخلفات الحيوانية على المدى الطويل كميات زائدة من عناصر غذائية معينة فى الأراضى، بصفة خاصة فى الأراضى التى على مقربة شديدة من موقع توليد المخلفات (مثل: الفوسفور، انظر جدول ٥ - ٦). وإذا كان هذا العنصر الغذائى، أو أى عنصر ضرورى أو غير ضرورى آخر، يمكن أن يكون له تأثير بيئى معنوى، فيجب أن تشمل خطة إدارة العنصر الغذائى استراتيجيات تقلل إلى أدنى حد ممكن هذا التأثير. وبالعكس، فى حالة وجود نقص للعنصر الغذائى، فإنه يجب تعريف وتحديد أفضل استخدام من ناحية الكفاءة لموارد المزرعة والأسمدة لى يكون إمداد جميع العناصر الغذائية للمحصول فى أفضل حالة. ويواجه حل المشكلات الناجمة عن زيادة العنصر الغذائى - التى يتم تحديدها ومعرفتها عن طريق ميزانية العنصر الغذائى للمزرعة والمطابقة بطريقة سليمة - يواجه تحدياً بسبب نقص البدائل الاقتصادية لاستخدام الأسمدة الحيوانية فى مجالات أخرى، غير إضافتها للأراضى، قرب موقع إنتاج هذه الأسمدة. وهذا الحال هو الأكثر شيوعاً فى الزراعة المعتمدة على الحيوانات، وهناك أمثلة أخرى تشمل المزارع التى لها مستويات عالية فى اختبارات التربة فى الفوسفور بسبب التسميد الزائد لمدة طويلة بأسمدة تجارية، والمزارع التى تعمل بواسطة البلديات أو الصناعات لأغراض التخلص من مخلفاتها.

ويتطلب تطبيق خطة إدارة العنصر الغذائى المعتمد على ميزانية العنصر خطوات عديدة تشمل التخزين الكفء، والتداول، والإضافة الكفء للعناصر الغذائية للمواقع المناسبة فى المزرعة. ويبين شكل ٩ - ٣ خطة الموقع، وقد صممت من أجل مزرعة ألبان، وتوضح كثيراً من العوامل التى يجب أن تؤخذ فى الاعتبار لتؤكد أن النظام البيئى الواحد (المزرعة) لا يؤثر عكسياً على نظام بيئى مجاور (منطقة الضفة والجدول). وتمثل خطة الموقع هذه أسلوباً متكاملًا لإدارة الدورات البيوجيوكيميائية ذات الأهمية لهذه المزرعة (العناصر الغذائية) من خلال تطوير خطة شاملة لتخزين، وتداول، وتوزيع العناصر الغذائية من الأسمدة الحيوانية والأسمدة المعدنية لمجموعة متنوعة من المحاصيل. ويتم مراعاة الحماية البيئية عن طريق استخدام برك تجميع مياه الأمطار

الجارية، ودهاليز على الضفاف، وتحديد المكان الصحيح لوسائل إنتاج السماد والحيوان بالنسبة لأبار مياه الشرب.

٩ - ٢ - ٢ إدارة مخلفات البلديات المضافة للأراضي:

تنتج المناطق الحضرية كميات كبيرة من مجموعة متنوعة واسعة الاختلاف من مخلفات عضوية، والتي يعتقد أنها مناسبة لبرامج الإضافة للأراضي. وتشمل هذه المخلفات: حمأة المجارى، والأسمدة العضوية الصناعية (الكمبوست) من الحمأة والمنتجات الثانوية للخشب، والأسمدة العضوية من المخلفات الصلبة للبلديات (بدون حمأة)، والأسمدة العضوية من مخلفات الساحات (الأوراق المتساقطة من الأشجار، ونواتج قص الحشائش)، ومياه الصرف الصحي من محطات المعالجة أو من المصادر الصناعية. وجميع هذه المخلفات يشيع إضافتها لأراضي المحاصيل، والغابات، والمناطق المكسوة بالأعشاب، ونباتات الزينة النامية فى البساتين وعلى جوانب الطرق وفى مشاريع استصلاح الأراضي على مستوى كبير. وفى الغالب، تقوم وكالات البيئة المحلية والفيدرالية بتنظيم إضافة هذه المواد إلى الأراضي. وعادة، يتم الحصول على التصاريحات من هذه الوكالات بعد اتباع عملية مراجعة تتطلب معلومات تفصيلية خاصة بالموقع عن جميع جوانب برنامج الإضافة للأراضي مثل: نوع التربة، وبورة المحاصيل الزراعية، وخواص المياه السطحية والجوفية، والطبوغرافيا، والرائحة، وبرنامج المراقبة. وبالاختلاف عن الحالات الزراعية، توجد قلة فقط من دورات البيوجيوكيميائية يجب أن يتم إدارتها ومراقبتها؛ فتشترط الوكالات المنظمة للبيئة أن تهتم خطط إدارة مخلفات البلديات والصناعات بعناية بالعدد الكبير من المكونات العضوية وغير العضوية فى هذه المخلفات، كما هو مبين فى جدول ٩ - ٢ فى ديلاوير، وبناء على ذلك، يجب أن تعتمد برامج الإدارة والمراقبة، فى الغالب، على فهمنا للدورات البيوجيوكيميائية لعشرات من العناصر أو المركبات. وتستخدم معظم هذه الوكالات مفهوم المكونات المحددة لاستخدام المخلفات فى الأراضي (LLC) لتقدير كل من معدلات الإضافة السنوية والعمر الكلى للموقع، أو طول الزمن الذى يمكن أن تضاف



شكل ٩ - ٣ مخطط موقع مُصمَّم لإدارة المخلفات الحيوانية .

(U. S. Dept. of Agriculture, soil Conservation Service, 1992.)

فيه مادة المخلفات إلى الموقع. ويعتبر المكوّن المحدّد لإضافة المخلف للأراضي هو ذلك العنصر أو المركب في المخلف الذي يتم تحديده ليُمثّل الضرر الأكبر والذي يجب أن يستعمل في تقدير المعدل الفعلي للمخلف المضاف إما في تلك السنة أو في جميع

السنوات. والمكونات النموذجية المحددة لإضافة المخلفات للأراضي هي العناصر الغذائية، والعناصر النادرة، والمركبات العضوية. ويوضح جدول ٩ - ٣ مثلاً مبسطاً لهذا المفهوم الخاص بتقدير المكونات المحددة لإضافة المخلفات إلى الأراضي (LLC).

ويعتبر تراكم الفوسفور إلى مستويات زائدة شائعاً في الأراضي المستصلحة بأنواع معينة من المخلفات العضوية. وتضاف معظم المخلفات العضوية المستخدمة في برامج الإضافة للأراضي الزراعية لتسد احتياجات المحصول من النتروجين؛ وبسبب نسبة (P : N) في المخلفات، يضاف في الغالب فوسفور أكثر من الذي يزال في المحصول. وتحدث المستويات الضارة بيئياً لفوسفور التربة في الغالب عندما تتكرر إضافة المخلفات العضوية إلى نفس الأرض لسنوات كثيرة؛ وهي ممارسة شائعة في مواقع مثل مناطق الزراعة المعتمدة على الحيوانات، والمناطق الحضرية التي تضاف فيها حمأة المجارى للأراضي، والرى بمياه الصرف الصحي الناتجة من وحدات تصنيع الغذاء. وتوضح نتائج اختبارات الأراضي لهذه المناطق عادة (١) أن نسبة كبيرة من العينات تقع في المدى الزائد بالنسبة للفوسفور، (٢) أن فوسفور التربة تزيد قيمته عن الكمية اللازمة لانتاج محاصيل مقبولة. فعلى سبيل المثال، يوضح ملخص آخر اختبار للتربة في ولاية ديلاوير أن ٧٦٪ من عينات الأراضي - التي تقع في المناطق المنتجة للدواجن وتزرع بمحاصيل تجارية - كانت نتائجها في الحد العالى أو الزائد بالنسبة للفوسفور، كما أن ٢٠٪ من هذه العينات تعدى ١٣٥ ملليجرام فوسفور لكل كيلوجرام، مقارنة بقيمة اختبار التربة العالى والذى قيمته ٣٥ ملليجرام فوسفور/ كيلو جرام. وينتج عن التأثير طويل المدى لتراكم الفوسفور في التربة إلى مستويات زائدة إمكانية حدوث مشاكل بيئية، بصفة خاصة في المناطق التي يحدث فيها انجراف للتربة وسريان مياه الأمطار قرب المياه السطحية مثل البحيرات، والبرك، والخلجان، وإغناء هذه المياه السطحية بالفوسفور (والنتروجين) يمكن أن يسبب حدوث ظاهرة التشبع الغذائي، ويؤدى إلى تدهور جودة المياه السطحية؛ كما ينخفض التنوع البيولوجي، وفي الظروف القصوى، تزهو الطحالب وتموت الأسماك. وليس هناك حل سهل لمشكلة الفوسفور المرتبط باستخدام المخلف العضوي. ولا تعتبر إضافة المخلفات

جدول ٩ - ٢ الاحتياجات المطلوبة في برامج المراقبة بالنسبة لحماية المجارى والنواتج الثانوية للحماة في ولاية ديلاوير.

مكونات المخلف غير العضوية *	أفضلية الملوثات **
N - الكلى N - أمونيومى N - نتراتى فوسفور بوتاسيوم كالسيوم مغنسيوم زنابق صوديوم نحاس نيكل زنك رصاص كاديوم كروميوم سيانيد رقم الحموضة	مركبات متطايرة: بنزين كربون تتراكوريد كلوروفورم تولوين تراى كلورو إيثيلين كلوريد فينيل مركبات حامضية: نبتا كلورو فينول فينول مركبات قاعدية / متعادلة: هكسا كلورو بنزين فيثا نثرين بيرين مبيدات ومركبات PCBs ألدرين كلوردان ٢ ، ٤ - د. داى إلدرين هبتاكلور توكسافين مركبات ثنائى الفينيل عديدة الكلوريد

(Delaware Dept. of Natural Resources and Environmental Control, DNREC , 1988.)

* المطلوب هو التحليل الكلى.

** المكتوب في الجدول عبارة عن عينات ممثلة لكل فئة ، وفى عام ١٩٨٨ قامت وكالة حماية البيئة الأمريكية بتحديد ١٢٦ مركبا في أفضلية الملوثات.

العضوية - لكى تسد احتياجات المحاصيل من الفوسفور - بديلاً قابلاً للتطبيق؛ لأن معدلات الإضافة المطلوبة قد تكون منخفضة بدرجة كبيرة لتستخدم جميع السماد الحيوانى أو الحماة المتولدة. وهناك حلول على مستوى كبير تشمل: تصنيع أسمدة عضوية صناعية «كمبوست»، والتكوير أو التصبيغ، ونقل المخلفات العضوية إلى مناطق تنقص فيها العناصر الغذائية. وربما تمثل هذه الحلول إجابة على المدى الطويل، ولكنها تتطلب بنية أساسية للمعالجة المكثفة للمخلف وانتقاله والتي قد لا تكون موجودة فى كثير من المناطق.

ويشيع وجود العناصر النادرة (As , Cd , Cr , Cu , Hg , Ni , Pb , Se , Zn) فى المخلفات العضوية، وبصفة خاصة تلك المخلفات الناتجة من المصادر الصناعية والبلديات. ويمكن أن يحدّد وجود هذه العناصر كلاً من معدلات الإضافة للمخلفات العضوية على مدار السنة أو على المدى البعيد. ويعتمد أسلوب التعامل الأكثر شيوعاً - حيث تكون العناصر النادرة مقلقة - على حساب معدل التحميل الكلى والسنواتى للموقع من العناصر. وبالرغم أن إضافات المخلف التى تواجه احتياجات المحصول من النتروجين نادراً ما تتعدى معدلات تحميل العنصر السنوية، فإن معدل التحميل المتراكم يعزل أو يحذف فى النهاية نسبة معينة من الأراضى الصالحة للزراعة من استخدامها فيما بعد فى برامج إضافة المخلفات العضوية للأراضى. وهذا يُعتبر قضية مهمة فى المناطق الحضرية بسبب أن تيسر الأراضى المناسبة لإضافة المخلف العضوى محدوداً، كما أن المخلفات الحيوانية لم تخضع بعد للقيود مثل مخلفات البلديات والمخلفات الصناعية، بالرغم من وجود عناصر نادرة مثل الزرنيخ، والنحاس، والزنك فى بعض الأسمدة الحيوانية بتركيزات مماثلة لتلك الموجودة فى حمأة المجارى. ولقد ذكرت الدراسات على الزرنيخ، والنحاس، والزنك فى أسمدة الدواجن مدى تركيز من ١٠ - ٣٠، ٣٠٠ - ١٠٠٠، ٢٠٠ - ٦٠٠ ملليجرام/كجم لهذه العناصر الثلاثة على الترتيب، مقارنة بمتوسط ١٠، ٨٠٠، ١٧٠٠ مجم/كجم فى حمأة مجارى البلديات فى شمال شرق الولايات المتحدة.

ويمكن للملوثات العضوية أيضاً أن تحدّ من استخدام المخلفات العضوية كمحسنات للأراضى. ويعتبر اختبار «أفضلية الملوثات» (مثل: المبيدات، الداىوكسين،

جدول ٩ - ٢ المكونات المحددة (LLC) لإضافة حمأة المجارى إلى الأراضى.

العامل	الكمية المتولدة (كجم/ سنة)	السعة البنائية للموقع (كجم / هكتار / سنة)	مساحة الأراضى المطلوبة (هكتار)
نتروجين كلى	٣٠٠٠	٤٠٠	٨ (LLC)
فوسفور	٢١٠٠	٤٠٠	٥
كدهيوم	١,٥	٠,٥	٣
نحاس	١٠	١٤	١
نيكل	٢٥	١٤	٢
رصاص	٤٥	٥٦	١
زنك	١٦٠	٢٨	٥

(Delaware Dept. of Natural Resources and Environmental Control, DNREC , 1988.)

ملاحظات : تتضمن الافتراضات : (١) سعة الموقع لبناء النتروجين معتمدة على امتصاص النتروجين، وتطاير الأمونيا ، والفقد فى مياه الصرف بتركيزات أقل من ١٠ مجم نتروجين نتراتى / لتر (٢) سعة الموقع لبناء الفوسفور تدرك الحقيقة التى تعنى أن الحمأة تضاف لتلبى احتياجات المحصول من النتروجين ، وبناء على ذلك فستحدث إضافة زائدة للفوسفور (بجانب احتياجات المحصول). ولذلك فإن مقاييس الصيانة مطلوبة عند الموقع لتقليل فقد الفوسفور - إلى أدنى حد - فى مياه الأمطار السارية أو بالانجراف أو مياه الصرف . (٣) سعة الموقع لبناء المعادن (الثقيلة) اعتمدت على المعدل الأقصى التراكمى للمعدن الذى يستطيع أن يتحملة الموقع ، بافتراض أن CEC = ١٠ ملليمكافى / ١٠٠ جم ، "عمر الموقع" = ٢٠ سنة . وفى ظل القوانين والتشريعات الحالية فى ديلاوير ، فإن هذه القيم هى : ١٠ ، ٢٨٠ ، ٢٨٠ ، ١١٢٠ ، ٥٦٠ كجم / هكتار للكدهيوم ، والنحاس ، والنيكل ، والرصاص ، والزنك . ولو أخذنا النحاس كمثال : فإن سعة (قدرة) الموقع البنائية = ٢٨٠ كجم / هكتار ÷ ٢٠ سنة = ١٤ كجم / هكتار / سنة . (٤) يتم تعريف LLC بأنه المكون المطلوب من معظم الأراضى للاستخدام الأمن لحمأة المجارى، اعتماداً على سعة (قدرة) الموقع البنائية. وفى هذه الحالة ، فإن LLC هو النتروجين ، وهو يحتاج ٨ هكتار.

مركبات الباي فينيل الكلورة، الملوثات الصناعية الأخرى) ممارسة معيارية بالنسبة لعظم حمأة البلديات، والمخلفات الصناعية، وقد امتد حالياً استخدامه لمخلفات عضوية أخرى مثل كومبوست مخلفات الساحة، وفي حالات معينة للأسمدة الحيوانية (مثل المبيدات المستخدمة لمكافحة الحشرات في مزارع الإنتاج الحيوانى). ومن الضروري توضيح أن تكلفة هذا الاختبار كبيرة. وعلاوة على ذلك، فإن قدرة تقنيات التحليل الأحدث على اكتشاف المستويات الأصغر للمركبات العضوية (مثل أجزاء فى البليون بدلاً من أجزاء فى المليون) قد تؤدي إلى زيادة قلق الجمهور فيما يتعلق بسلامة استخدام المخلفات العضوية فى برامج إضافتها للأراضى.

وفى مستهل عام ١٩٩٢، أصدرت وكالة حماية البيئة فى الولايات المتحدة «قانون حمأة المجارى»، والذى نشأ تحت «قانون المياه النظيفة» للولايات المتحدة. ولقد تطور هذا القانون بالاعتماد على مراجعة شاملة، لمدة ١٥ سنة، لبرامج الأبحاث والإدارة باستخدام حمأة المجارى للمزارع، والحدائق، والغابات والمواقع المخصصة لأغراض معينة (مثل مدافن المخلفات). ويصف القانون ممارسات الإدارة العامة والخاصة لاستخدام حمأة المجارى فى برامج إضافتها للأراضى أو حرقها. وبالنسبة للإضافة للأراضى، فإن الطريقة العامة هى أن تضاف حمأة المجارى عند «معدل زراعى» متوافق مع احتياجات المحصول من العنصر الغذائى. وللتأكد من أن هذا المعدل لن يضيف كميات زائدة من العناصر النادرة أو الملوثات الأخرى، فالأمر يتطلب مراقبة تركيب الحمأة، كما أن الكمية الكلية لكل عنصر التى يمكن أن تضاف إلى موقع ما يجب تعيينها (جدول ٩ - ٤). على سبيل المثال، إذا أدى استخدام معدل حمأة المجارى اللازم لاحتياجات محصول القمح من النتروجين إلى إضافة سنوية أكثر من ١٩ كجم/هكتار/ السنة من الكايميوم، فإن معدل إضافة الحمأة يجب أن ينخفض، وينبغى استخدام أسمدة نتروجين تجارية لتكمل النتروجين المضاف بواسطة الحمأة. وتحدد معدلات التحميل المتراكمة طول الزمن الكلى الذى يستطيع فيه الموقع أن يستقبل حمأة المجارى؛ فإذا كانت هناك بلية مانتج حمأة وترغب فى إضافتها بمعدلات مناسبة لمحاصيل الحبوب، وهذه المعدلات تزود الموقع بمعدل ١٩ كجم/هكتار/ سنة من الكايميوم، فالنتيجة أنه يمكن استخدام الموقع لمدة ٣٩ سنة (جدول ٩ - ٤). ويضع القانون أيضاً

جدول ٩ - ٤ التركيزات القصوى ومعدل الحمولة التراكمية والسنوية للعناصر النادرة الموجودة في حمأة المجارى.

العنصر النادر	التركيز الأقصى (مجم / كجم)	الحمل التراكمي كجم/ هكتار	الحمل السنوى الأقصى كجم / هكتار / سنة
As	٧٥	٤١	٢٠
Cd	٨٥	٣٩	١٩
Cr	٢٠٠٠	٢٠٠٠	١٥٠
Cu	٤٣٠٠	١٥٠٠	٧٥
Pb	٨٤٠	٣٠٠	١٥
Hg	٥٧	١٧	٠.٨٥
Mo	٧٥	١٨	٠.٩٠
Ni	٤٢٠	٤٢٠	٢١
Se	١٠٠	١٠٠	٥٠
Zn	٧٥٠٠	٢٨٠٠	١٤٠

(EPA, 1992.)

حدوداً قصوى لتركيز العنصر النادر لكى يؤكد على عدم إضافة الحمأة الملوثة بدرجة زائدة للأراضى (مثلاً ٨٥ مجم/كجم بالنسبة للكاميوم). ويقول القانون أيضاً أن ممارسات الإدارة لمقاومة سريان مياه الأمطار (مثل المناطق الواقية أو العازلة) مطلوبة، ويطلب بتزويد مهندسي البساتين ومالكي المنازل بالتعليمات والمعلومات التفصيلية عن الوسائل السليمة لاستخدام النواتج المشتقة من الحمأة (مثل، كمبوست الحمأة)

لأغراض الزراعة البستانية. ويطلب هذا القانون أيضاً بالعناية، وتوخي الحذر، ومراقبة الحمأة من ناحية تركيبها في الملوث. ويؤكد على الممارسات السليمة أيضاً للتأكد من حماية البيئة من الأنواع أو الأصناف التي تهددها بالخطر.

ويعتبر تطبيق هذا القانون بواسطة وكالة حماية البيئة الأمريكية مثلاً جيداً لكيفية فهمنا للدورات البيوجيوكيميائية وكيفية استخدامها لتطوير برامج إدارة تحدد الأولوية لمكافحة خطر التلوث. وإبتداءً من عام ١٩٨٤، قامت وكالة حماية البيئة الأمريكية بمراجعة النتائج المستقاة من الدراسات التي قامت على ٢٠٠ إلى ٤٠٠ ملوث موجود في الحمأة. ولقد قام فريق البحوث القومي بإعداد التوصيات اعتماداً على البحوث العلمية عن تحولات هذه الملوثات في البيئة (مثل: دوراتها البيوجيوكيميائية). وقد أوصى فريق البحوث القومي بأنه يجب فحص ومراجعة ٥٠ مادة ملوثة بدرجة مكثفة. وقد أدى تقويم البحوث والمعلومات الفنية الأخرى فيما بعد إلى قيام وكالة حماية البيئة الأمريكية في عام ١٩٩٢ بتأسيس نهائي للحدود القومية لعدد ١٠ ملوثات بالنسبة لبرامج إضافة الحمأة للأراضي (جدول ٩ - ٤).

٩ - ٢ - ٣ تحولات العنصر الغذائي في الأراضي الرطبة:

الأراضي الرطبة، كما تعرف بواسطة مصلحة الحيوانات البرية والأسماك بالولايات المتحدة في عام ١٩٧٩، هي: «الأراضي الانتقالية (التحولية) بين نظم البيئة الأرضية والمائية حيث يكون مستوى الماء الأرضي عادة عند السطح أو قريب منه، أو أن الأرض تكون مغطاة بماء ضحل». وبصفة عامة، لكي تصنف أرضاً على أنها أرض رطبة، فإن المنطقة يجب أن يتوفر بها واحد أو أكثر من الخواص التالية: (١) تدعيم بصفة دائمة - أو على الأقل بصفة دورية - بغطاء من نباتات محبة للماء؛ (٢) تكون مادة التربة فيها غير منفذة بصفة دائمة للماء أي وافرة الرطوبة، (٣) تكون فيها طبقة ليست تربة، ومشبعة أو مغطاة بماء ضحل في بعض الوقت خلال فصل النمو من كل سنة. وتعرف مصلحة صيانة الأراضي بالولايات المتحدة الأراضي وافرة الرطوبة "hy-dric soils" بأنها «... الأراضي التي في حالة سوء الصرف تكون مشبعة، أو مغمورة،

أو مكونة برك لمدة كافية خلال موسم النمو، وينتج عنها ظروف لا هوائية تناسب نمو وإكثار النباتات المحبة للماء...». ولا تزال معايير تصنيف الأراضي الرطبة تحت الفحص والدراسة المكثفة في الوقت الحالى، وذلك بسبب قيمتها فى الحالة الطبيعية وأيضا بسبب قيمتها المحتملة لاستخدامات أرضية أخرى بمجرد أن يتحسن الصرف بها (مثل: الزراعة، التنمية، تعدين البيت). وتوجد أنواع كثيرة من الأراضي الرطبة، وتشمل: مستنقعات مياه الأنهار وملاحات المد والجزر، ومستنقعات المياه العذبة داخل الأراضي، والبرك، وأراضي البيت، والأراضي الوحلة (السبخة)، والحفر والأخاديد فى أراضي البرارى، والأراضي الرطبة الشاطئية (الملاصقة للأنهار). وكل واحد منها عبارة عن نظام بيئى فريد من نوعه، ولكن يشترك الجميع فى عدد من الوظائف الحيوية التى تجعل صيانة الأراضي الرطبة قضية بيئية حرجية. ومن بين هذه الوظائف الأكثر أهمية، أن الأراضي الرطبة تقلل الانجراف، وتوفر مكافحة لفيضان المياه وسريان مياه العواصف الممطرة، وتحافظ على جودة المياه عن طريق حبس الرواسب والملوثات، وتوفر موطن للحيوانات البرية، وتحافظ على التنوع البيولوجى، وتنتج الغذاء وأشجار خشبية للبناء، وتعمل كمناطق واقية بين المناطق الزراعية والصناعية. ويقوم الإنسان بتغيير الأراضي الرطبة عن طريق الصرف، وإقامة قنوات ملاحية، والحفر والملاء، والتعدين، والتلوث المعروف مصدره أو غير المعروف. ولقد قُدِّرَ أنه فى الفترة الزمنية من قبل الاستيطان حتى عام ١٩٧٠، تم تدمير ٣٠ إلى ٥٠٪ من الأراضي الرطبة فى الولايات المتحدة.

والنورات البيوجيوكيميائية فى الأراضي الرطبة يسيطر عليها هيدرولوجى النظام البيئى. وتحت الظروف المشبعة يصبح الأوكسجين مستنفذاً، أو ينتشر بمعدل بطئ بدرجة تجعل التحولات اللاهوائية هى العمليات السائدة فى كثير من النورات البيوجيوكيميائية. ومن وجهة النظر البيئية، فإننا نسعى إلى استخدام الأراضي الرطبة لتقلل تلوث الأنظمة المائية المجاورة. وحالياً، بدأت كثير من المدن، والصناعات، والمشاريع الزراعية تُفكر فى استخدام الأراضي الرطبة المنشأة فى المناطق النجدية لتخدم كنظم معالجة طبيعية لمياه الصرف الصحى. ولهذا السبب، فإنه من الضرورى أن نفهم تأثير الظروف اللاهوائية على التفاعلات البيولوجية والكيميائية التى تشمل

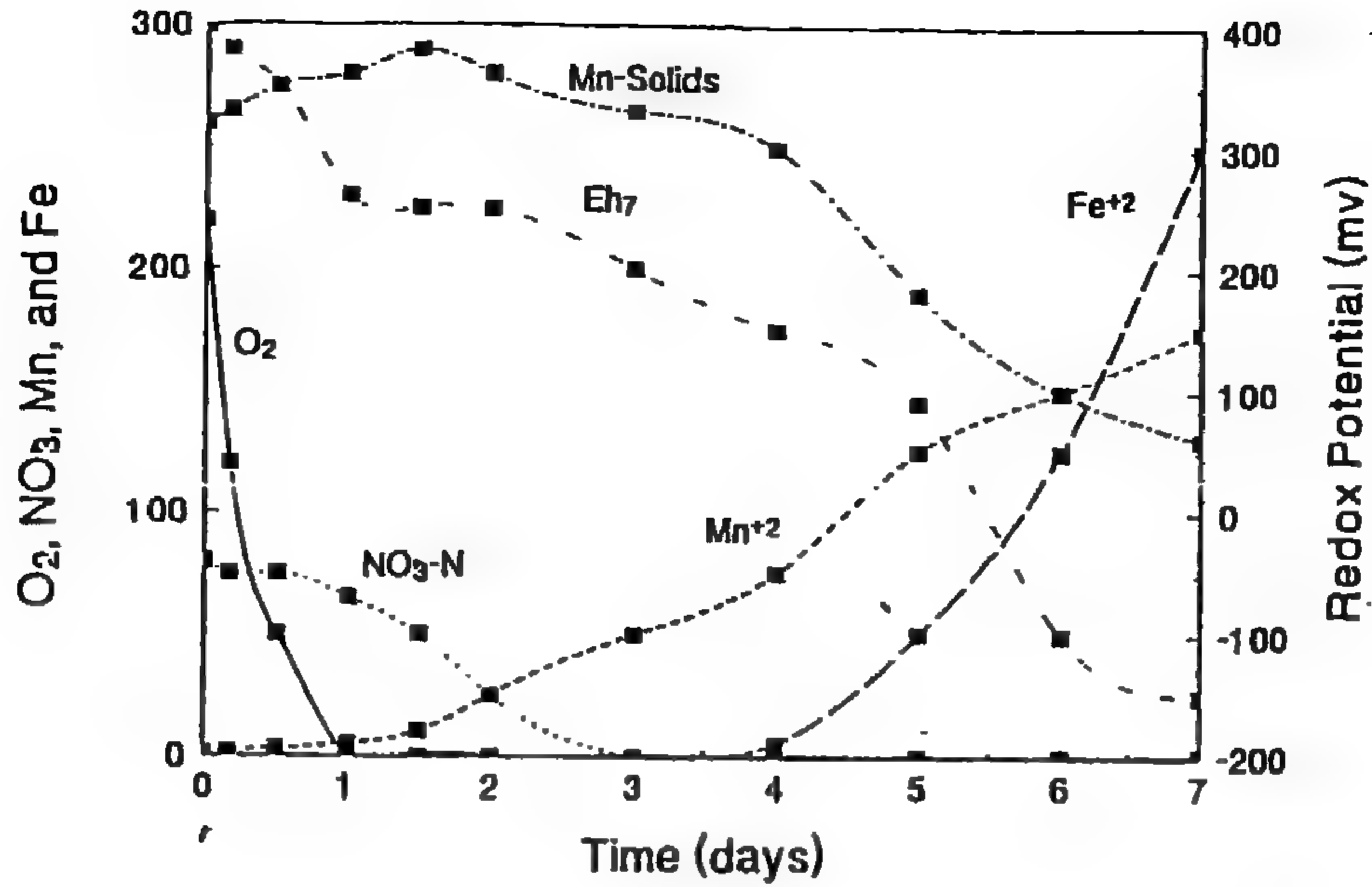
جدول ٩ - ٥ تفاعلات التأكسد والاختزال المهمة في الأراضي الرطبة.

جهد التأكسد والاختزال للتفاعل* (mv)	العناصر أو المركبات الداخلة في التفاعل		
	أنواع مختزلة	أنواع مؤكسدة	العنصر
٤٠٠ - ٧٠٠	الماء	الأكسجين	الأكسجين
	$0.5 O_2 + 2e^- + 2H^+ \rightleftharpoons H_2O$		
٢٢٠	N_2, N_2O, NH_4^+	نترات	نتروجين
	$NO_3 + 2e^- + 2H^+ \rightleftharpoons NO_2^- + H_2O$		
٢٠٠	Mn^{2+} (منجنوز : MnS)	Mn^{4+} (منجنيك : MnO_2)	منجنيز
	$MnO_2 + 2e^- + 4H^+ \rightleftharpoons Mn^{2+} + 2H_2O$		
١٢٠	Fe^{2+} (حديدوز : $Fe(OH)_2, FeS$)	Fe^{3+} (حبيبيك : $Fe(OH)_3$)	حديد
	$FeOOH + e^- + 3H^+ \rightleftharpoons Fe^{2+} + 2H_2O$		
٧٥- إلى ١٥٠-	S^{2-} (كبريتيد : FeS, H_2S)	كبريتات	كبريت
	$SO_4^{2-} + 8H^+ + 7e^- \rightleftharpoons 0.5 S_2^{2-} + 4H_2O$		
٢٥٠- إلى ٣٥٠-	الميثان	ثاني أكسيد الكربون	كربون
	$CO_2 + 8e^- + 8H^+ \rightleftharpoons CH_4 + 2H_2O$		

* جهد التأكسد والاختزال عبارة عن أرقام تقريبية وتختلف تبعا لرقم الحموضة pH ودرجة الحرارة.

الملوثات. ولأن كثيرا من الأراضي الرطبة لا تظل في حالة غير هوائية على مدار السنة، فإن تأثير دورات التجفيف والترطيب المتبادلة على هذه التفاعلات تعدُّ مهمة أيضاً. وبالمثل، فإن معظم الأراضي الرطبة ليست لا هوائية خلال قطاع التربة، وتوجد في الغالب طبقة هوائية ضحلة في المليمترات القليلة العلوية.

والعامل المتحكم فى معظم التفاعلات المهمة فى الأراضى الرطبة هو جهد التأكسد والاختزال للتربة؛ وهو قياس حالة التربة فى التأكسد والاختزال. وفى الأراضى الهوائية، يُنتج تحلل المادة العضوية (أكسدة) إلكترونات وهى غالباً تُستقبل بواسطة الأكسجين، مكونة ماء (اختزال). وعندما يغيب الأكسجين أو يكون معدل انتشاره خلال التربة بطيئاً جداً، كما هو الحال فى الأراضى الرطبة أو رواسب البحيرات، فإن مواد أخرى تستقبل هذه الإلكترونات، ويؤدى هذا إلى تكوين نواتج نهائية غير الماء (جدول ٩ - ٥). وهذا تمّ إيضاحه سابقاً مع النتترات (النتروجين النتراتى) (انظر الفصل الرابع)، حيث أن عملية عكس التآزت فى الأراضى الرطبة حوّلت الملوث المائى المحتمل (النتروجين النتراتى) إلى أكاسيد نيتروجين غازية (انظر الشكل ٤ - ٧). وتعدّ نواتج عملية الاختزال فى الأراضى الرطبة مفهومة جيداً؛ ومن هنا، فإن معرفة جهد التأكسد والاختزال يمكن أن يستخدم لى نتنبأ بمعرفة مستقبلات الإلكترونات السائدة الموجودة، كما هو موضح فى شكل ٩ - ٤، الذى يبين التحولات التى تحدث عندما تتشبع التربة بالماء. ويتم استنفاد الأكسجين الميسر خلال يوم واحد، ويصبح النتروجين النتراتى المادة التالية لاستقبال الإلكترونات الناتجة بواسطة عملية التحلل اللاهوائى للمادة العضوية، يليه أكاسيد المنجنيز وبعدها أكاسيد الحديد. وعندما ينخفض جهد التأكسد والاختزال (Eh)، فإن الصور الصلبة السهلة الاختزال للمنجنيز تختفى، بينما يتراكم المنجنيز Mn^{2+} القابل للتبادل (الدمص)، يليه Fe^{2+} فى هيئة أكاسيد حديد يتم اختزالها. وفى النهاية، سوف يحدث اختزال الكبريتات SO_4^{2-} إلى كبريتيد S^{2-} عندما يتم استنفاد جميع مصادر NO_3^- ، Mn^{4+} ، Fe^{3+} وهذا يليه التحلل اللاهوائى للكربون العضوى والذى يؤدى إلى إنتاج غاز الميثان CH_4 ، ويشار إليه غالباً «غاز البرك أو المستنقعات». وإذا جفت هذه التربة وتكونت فيها مرة أخرى ظروف هوائية، فسوف تنعكس التفاعلات غالباً، وسوف يبدأ النتروجين النتراتى فى التراكم، وتحدث معدنة للمادة العضوية، أما المنجنيز والحديد الذائبان، فسوف يبدأ كل منهما فى تكوين مترسبات غير ذائبة مثل MnO_2 ، $Fe(OH)_3$. وبالنسبة لعنصر مثل الفوسفور، يعتبر ادمصاصه بواسطة أكاسيد الحديد آلية هامة لحفظه فى الأراضى، كما يمكن أن تؤثر النورات المتعاقبة من الترطيب والتجفيف على كل من امتصاص النبات للفوسفور واحتمال انطلاقه إلى النظم المائية المجاورة



شكل ٩ - ٤ رسم تخطيطي للتحويلات التي يمكن أن تحدث عندما تتشبع التربة وتتكون ظروف لاهوائية. (Turner and Patrick , 1968.)

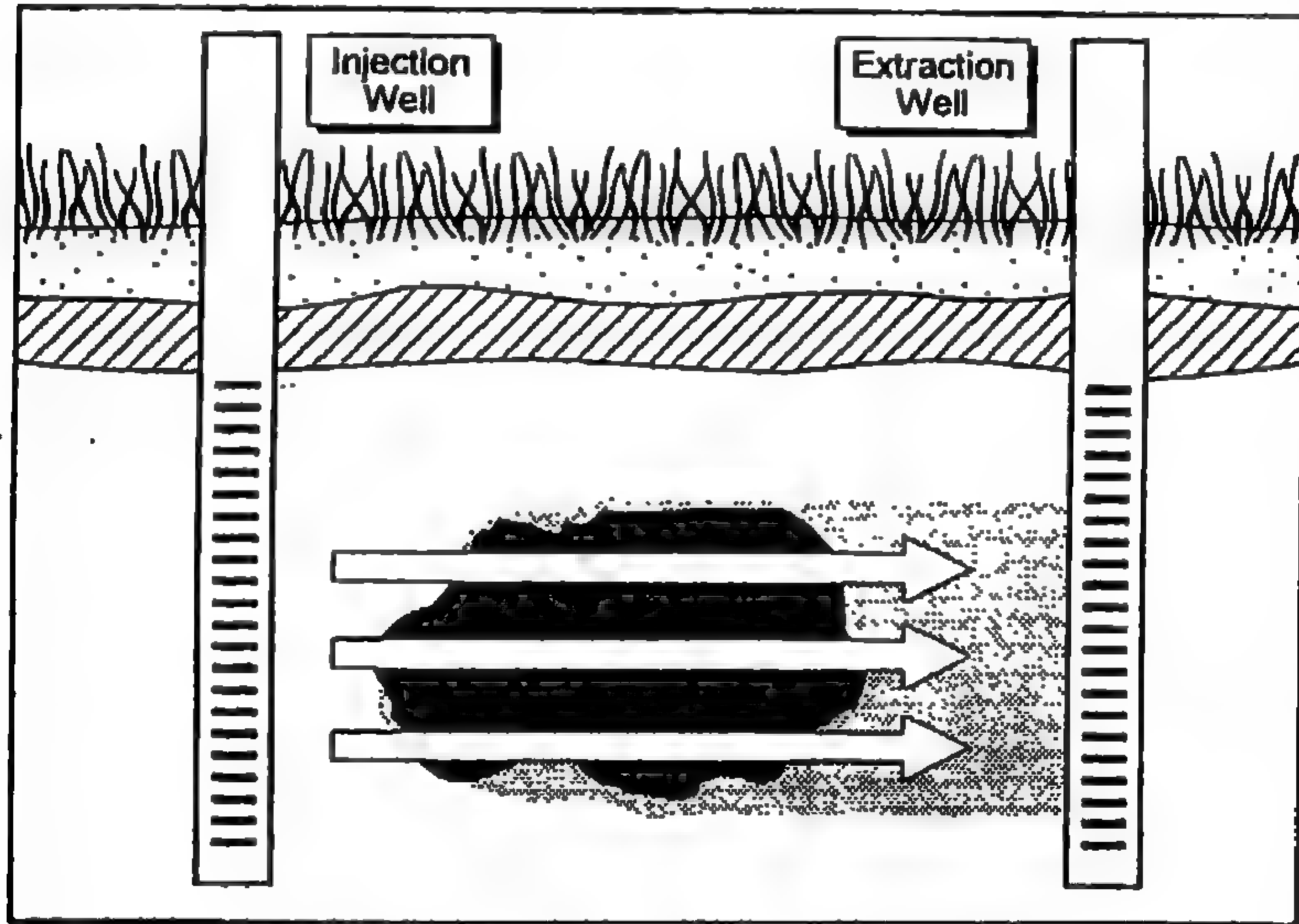
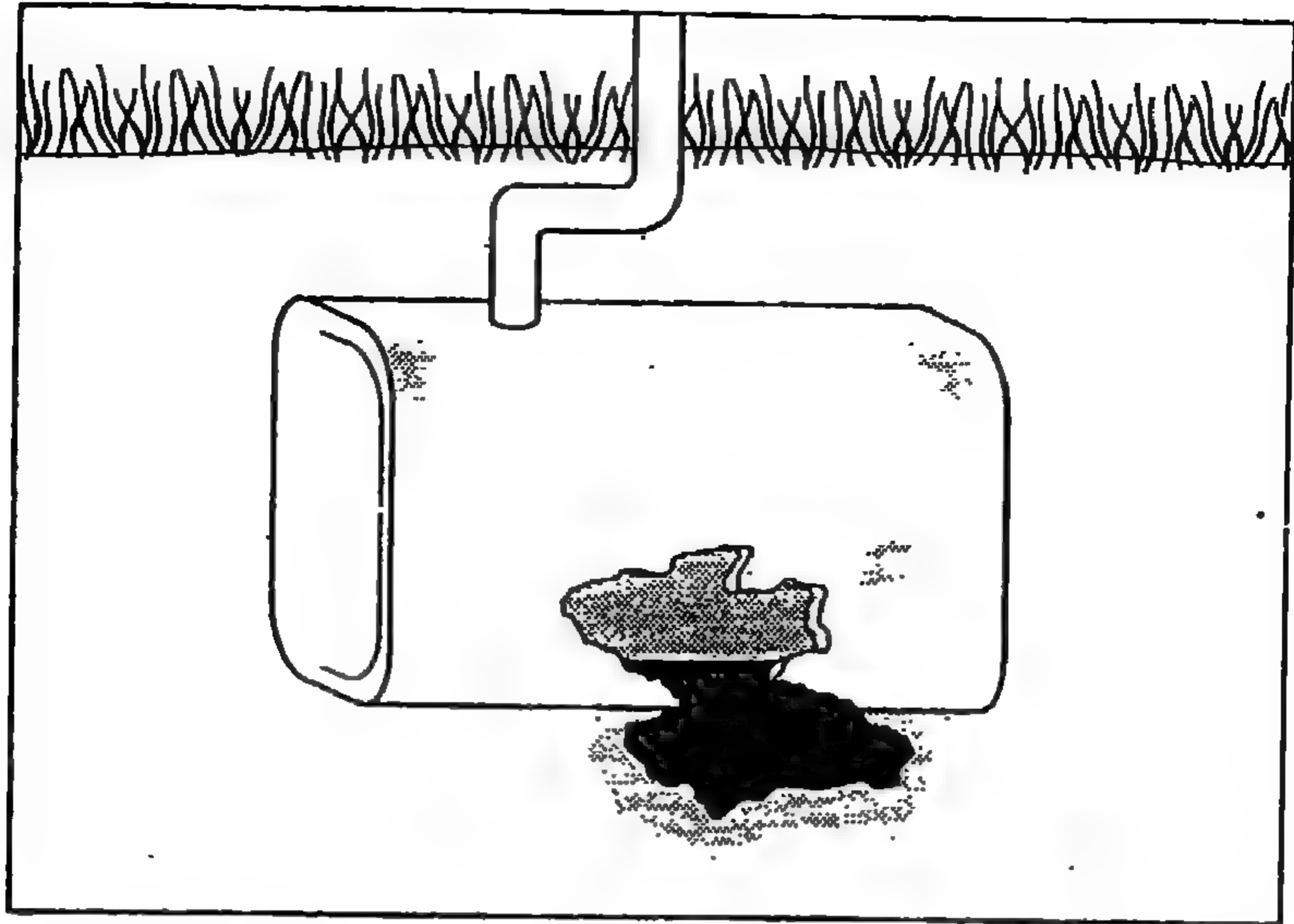
التي تكون حساسة لعملية التشبع الغذائي، ولقد أوضحت البحوث أن زيادة الظروف اللاهوائية في رواسب البحيرة يمكن أن تختزل أكاسيد الحديد وفوسفات الحديد، مما يؤدي إلى انطلاق الفوسفور الذائب من هذه الصور الصلبة، وازدياد احتمال حدوث ظاهرة التشبع الغذائي. وبناءً على ذلك، فإن محاولات إنشاء أراضي رطبة أو مناطق شاطئية (ملاصقة للأنهار) بجوار الحقول الزراعية لتعزيز عملية عكس التأزت يجب أن تأخذ في اعتبارها احتمال زيادة انطلاق الفوسفور الذائب في الجداول والأنهار الواقعة على حدود هذه الحقول.

ويمكن أن تحدث تحولات أخرى في الأراضي الرطبة مثل مصير المركبات العضوية (كالمبيدات، والهيدروكربونات في المياه السارية بسبب العواصف الممطرة) أو العناصر النادرة، ولم تتل هذه التحولات قدرًا كافيًا من الدراسة، ولذلك فهي لم تفهم جيدًا مقارنة بالدراسات (التحويلات) الخاصة بالعناصر الغذائية للنبات؛ مما سينعكس أهميته خاصة في حالة استخدام الأراضي الرطبة المنشأة كمناطق فلترة بيولوجية بسبب زيادة حجم المخلفات الحضرية والصناعية.

جدول ٩ - ٦ أقسام المركبات العضوية التي يمكن أن تصلح للعلاج البيولوجي.

قسم	مثال	عملية التحلل الحيوي المفضلة	
		هوائية	لا هوائية
- مركبات أروماتية أحادية الكلور.	كلوروبنزين	x	
- "BTX" (بنزين ، تولوين ، زيلين).		x	x
- فينولات غير هالوجينية، كريسولات.	٢-ميثيل فينول	x	
- هيدركربونات أروماتية عديدة الأنوية.	كريسوت	x	
- ألكان ، ألكين.	زيت الوقود	x	
- PCB _s	تراي كلورو بايفينيل	x	x
- كلوروفينولات.	بنثا كلوروفينول	x	x
- منبيات عديدة الطبقات نتروجينية متكلورة.	بيريدين	x	x
ألكان.	كلوروفورم	x	x
ألكين	تراي كلورو إيثيلين	x	x

(EPA, 1991.)



شكل ٩-٥ رسم توضيحي للعلاج البيولوجي في نفس المكان للتسرب من خزان تحت الأرض.

(EPA, 1991.)

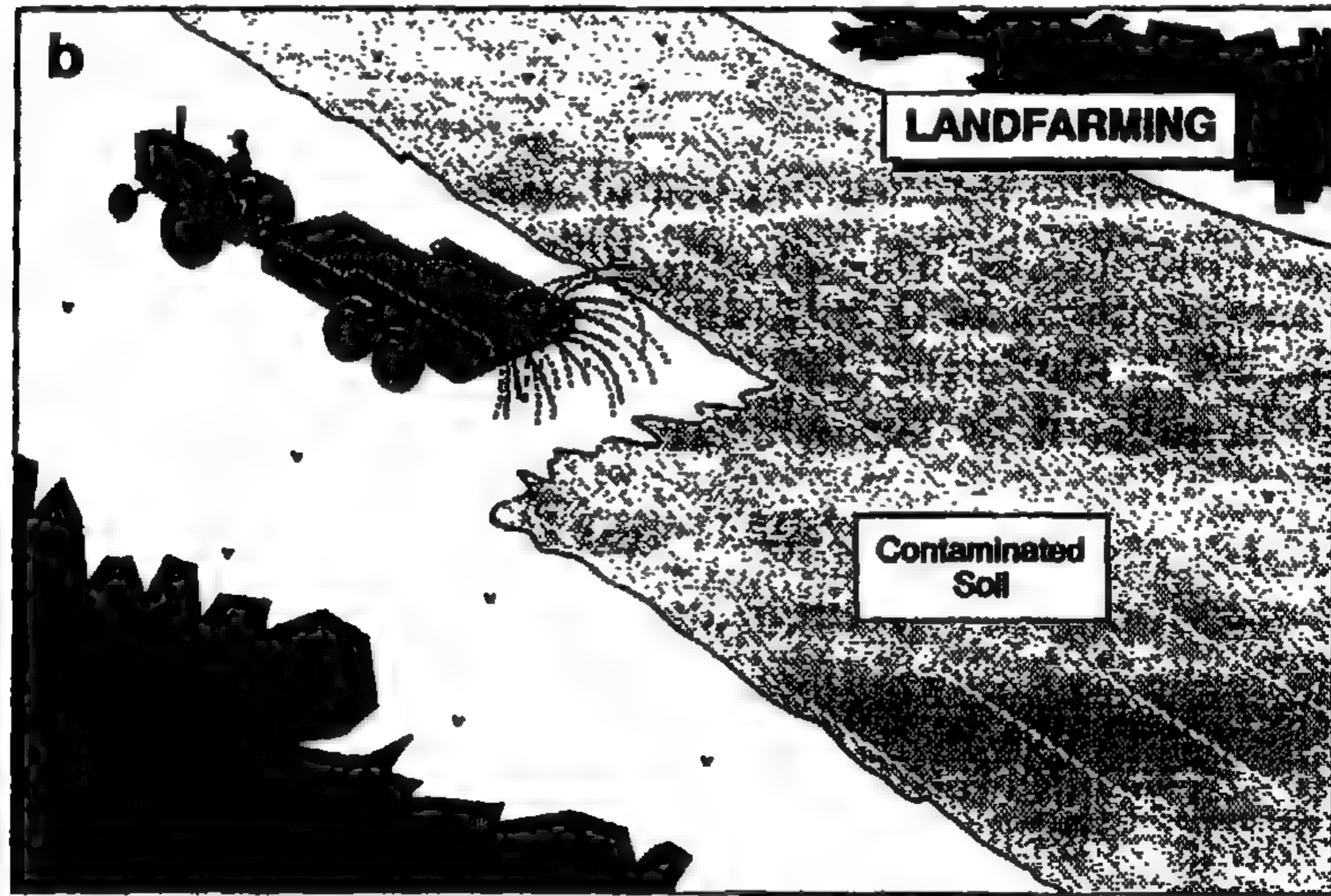
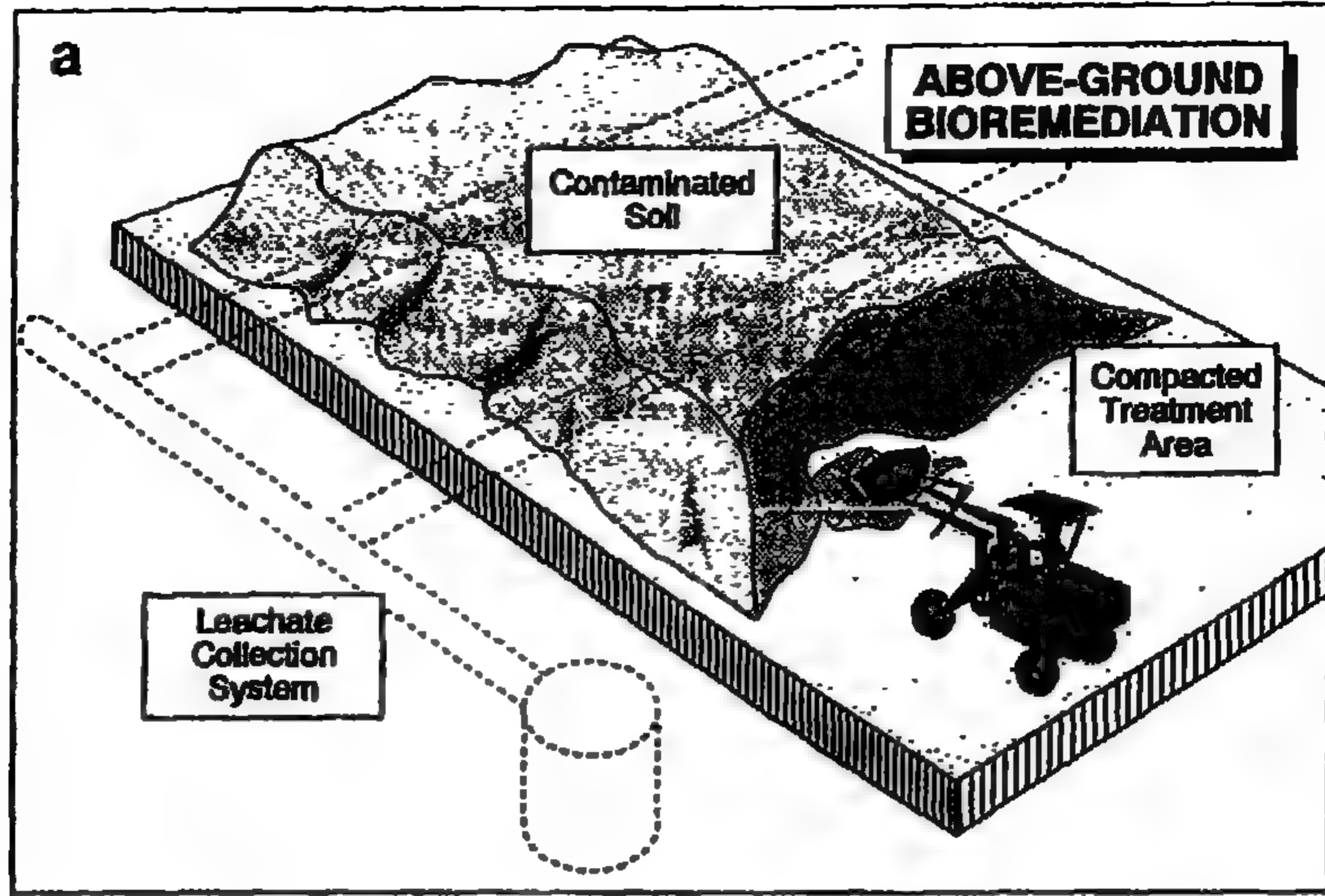
٩ - ٢ - ٤ العلاج الحيوى للأراضى الملوثة بالكيماويات العضوية :

يُعرف العلاج الحيوى بواسطة وكالة حماية البيئة فى الولايات المتحدة عام ١٩٩١ بأنه «... العملية التى تستخدم الكائنات الدقيقة لتحويل المواد الضارة إلى مركبات غير سامة ... وهى أحد أهم التقنيات الواعدة لعلاج الكيماويات الساقطة أو الفائضة ومشاكل المخلفات الضارة». ولقد استخدم العلاج الحيوى بنجاح لمدة أطول من ٢٠ سنة، وذلك لتنظيف المواقع الملوثة بالمقنوفات من الزيوت والهيدروكربونات الأخرى، كما أن له القدرة على تحليل كيماويات أقسام أخرى (جدول ٩ - ٦). ويعتبر العلاج الحيوى تقنية طوارئ، فالمرء يسعى لى يعالج ببراءة التدوير البيوجيوكيميائى للكيماويات العضوية بطريقة تؤدى إلى تحللها إلى نواتج ثانوية غير ضارة مثل ثانى أكسيد الكربون والماء. وتشمل المكونات الأساسية لعملية العلاج الحيوى مايلى: (١) الكائنات الدقيقة الموجودة طبيعياً أو المهندسة وراثياً، (٢) ملوثاً قابلاً للتحلل الحيوى بدرجة فعالة، (٣) و«مفاعلاً بيولوجياً» (الموقع الذى تحدث فيه عملية العلاج الحيوى). ويمكن أن يحدث العلاج الحيوى فى نفس المكان، وفى هذه الحالة يكون حجم التربة الملوثة هو المفاعل الحيوى. ولقد تم إجراء العلاج البيولوجى فى نفس المكان بنجاح على كل من الأراضى السطحية وعلى أراضى تحت التربة الملوثة والمياه الجوفية، وكانت تلك الأراضى على مقربة من التسرب من حوض تخزين جازولين تحت الأرض (شكل ٩ - ٥). وهناك ميزة رئيسية لوسيلة العلاج الحيوى فى نفس المكان، وهى أنها تلغى الحاجة إلى الحفر واستخراج ونقل الأرض الملوثة إلى موقع آخر. وبدلاً من ذلك، فإن الأرض الملوثة يمكن إزالتها وتؤخذ إلى موقع آخر للعلاج الحيوى فوق سطح الأرض عن طريق التحويل إلى سماد عضوى صناعى «كمبوست»، أو عمل ملاط (طين) رقيق القوام، أو معالجة الطور الصلب بوضعه فى صفوف وتعريضه للرياح حتى يجف، أو حتى عن طريق «نشر الأرض» شكل ٩ - ٦. وفى العملية الأخيرة، تُنشر التربة الملوثة وتوزع فى شكل طبقة رقيقة على أرض مزروعة؛ ويحدث العلاج عن طريق كل من التحلل الحيوى وتخفيف الملوث إلى تركيزات منخفضة بدرجة كبيرة عن طريق الخلط بالتربة غير الملوثة فى الموقع. ولقد أثبتت طريقة نشر الأرض أنها تقنية فعالة لعلاج الأراضى الملوثة

بالكيماءويات الزراعية الفائضة أو الساقطة ؛ لأن هذه المواد مقبولة فعلا بالنسبة لإضافتها للأراضي، ومصيرها البيئي معروف جيداً. وفي هذه الحالة، تمثل نظم نشر الأرض ببساطة وسيلة لتخفيف الملوث (مثل، المبيد) إلى تركيز يسمح بحدوث تحلل فعال في الوقت المناسب بواسطة الكائنات الدقيقة في التربة. وبصرف النظر عن الموقع، تتضمن وسيلة التعامل الأساسية في العلاج الحيوي تنشيط أو إثارة نشاط الكائنات الموجودة طبيعياً في التربة عن طريق التهوية، وإضافة العناصر الغذائية، وتكييف درجة الحرارة والرطوبة لتكون في الدرجة المثلى. وتستخدم الكائنات الدقيقة الكربون الموجود في الملوثات العضوية كمصدر للطاقة وتحلله بيولوجياً إلى مركبات أقل ضرراً.

والعلاج الحيوي، مثله مثل جميع الجهود التي تقاوم الدورات البيوجيوكيميائية، لا يحقق نجاحاً بصفة دائمة، وقد يحدث الفشل في العلاج عندما يكون تركيز الملوث عالياً بدرجة كافية تجعله مُسمِّماً للكائنات الدقيقة في التربة، أو عندما تصبح عملية التحلل أبطأ من التحول الآخر في الدورة البيوجيوكيميائية التي قد يكون لها تأثير بيئي (مثل الغسيل). ويعنى التنوع في خواص الملوثات العضوية المحتملة أننا قد لا نستطيع دائماً أن نفهم الظروف البيئية المثلى التي تشجع التحلل الحيوي، أو السُمِّية للنواتج الثانوية التي تنتج من العملية. ويمكن أن يكون العلاج الحيوي مرتفع التكلفة، ويتطلب مراقبة مكثفة للأراضي، والراشح، والهواء فوق الموقع لتتأكد أن العملية تتقدم كما هو مخطط لها، كما نتأكد أيضاً أن الملوث أو النواتج الثانوية لم تهرب عن طريق مسار بيوجيوكيميائي آخر مثل الغسيل أو التطاير.

ويتطلب العلاج الحيوي الناجح تخطيطاً واعياً. وفي حالة تنفيذه بدقة، يمكن أن يصبح العلاج الحيوي أقل تكلفة، كما يصبح عملية إغاثة بيئية. وتشمل الخطوات الأساسية في خطة العلاج الحيوي مايلي: (١) تقويم الموقع، (٢) دراسات أولية عن «القدرة العلاجية» مقارنة بالبدائل الأخرى، (٣) هندسة الخطة، (٤) مراقبة عملية العلاج الحيوي نفسها. ويتطلب تقويم الموقع استقصاءً عميقاً عن طبيعة المخلفات الموجودة، وانتشار التلوث، والظروف البيئية الجارية التي قد تقيد أسلوب العلاج الحيوي. أما الدراسات الأولية فتقدم إجابات عن الأسئلة المهمة المتعلقة بالآتي: (١)



شكل ٩ - ٦ رسم توضيحي لعمليات العلاج البيولوجي التي تتم فوق سطح الأرض (a) العلاج الحيوي السطحي لتربة ملوثة . (b) «نشر الأرض» كطريقة لعلاج التربة الملوثة بمبيد سقط عليها، عن طريق نشرها على أرض مزروعة.

(EPA , 1991 and Felsot, 1991.)

حساسية الملوثات لتحلل الحيوى، (٢) وجود أوجياف المركبات الأخرى فى التربة والتي قد تُقيّد النشاط الميكروبي، (٣) التكاليف اللازمة لتوفر ظروف بيئية مثلى عن طريق التهوية، (٤) إضافة الجير، (٥) التسميد المعدنى، (٦) ضبط نسبة الرطوبة فى التربة. ويمكن أيضا أن تقدر هذه الدراسات ما إذا كان الموقع يحتاج إلى «التلقيح» بكائنات دقيقة أخرى قادرة على تحليل المركب، ولكنها غير موجودة بالموقع أو موجودة بمستويات منخفضة جدا. وفى النهاية، فإن التكاليف، والزمن اللازمين للعلاج الحيوى يجب أن يقارنا بالبدائل الأخرى، مثل الحرق، وذلك لتقدير أفضل عملية فى التأثير والتكلفة من أجل تنظيف الموقع. وإذا كان العلاج الحيوى هو البديل المفضل، فحينئذ ينبغى عمل خطة هندسية معتمدة على الدراسات الأولية، وينبغى أيضا تنفيذها ومراقبتها بعناية عن طريق أخذ عينات من التربة، والماء، والهواء من الموقع.

المراجع :

- Anonymous, Profitable and Sensible Use of Poultry Manure, Special Circular No. 274, Pennsylvania State University, University Park, PA, 1983.
- Council on Environmental Quality, Environmental Trends, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1989.
- Delaware Department of Natural Resources and Environmental Control (DNREC), Guidance and Regulations Governing the Land Treatment of Wastes, Division of Water Resources, DNREC, Dover, DE, 1988.
- Felsot, A., Landfarming can clean up contaminated soil, Solutions, February, 16, 1991.
- Turner, F. T. and Patrick, W. H., Jr., Chemical changes in waterlogged soils as a result of oxygen depletion, Trans. IX Int. Congr. Soil Sci., 4, 53, 1968.
- U.S. Department of Agriculture Soil Conservation Service, Agricultural Waste Management Field Handbook, No. 651 of the National Engineering Handbook Series, Consolidated Forms and Publications Distribution Center, U.S. Department of Agriculture, Landover, MD, 1992.
- U.S. Environmental Protection Agency, Understanding Bioremediation: A Guidebook for Citizens, EPA/540/2-91/002, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 1991.
- U.S. Environmental Protection Agency, National Sewage Sludge Rule, 1992.

مراجع مساعدة:

Mitsch, W. J. and Gosselink, J. G., Wetlands, Van Nostrand Reinhold, New York, 1986.

Overcash, M. R., Humenik, F. J., and Miner, J. R., Introduction to livestock waste management, in CRC Livestock Waste Management, Vol. I, Overcash et al., Eds., CRC Press, Boca Raton, FL, 1983.

الفصل العاشر

الغلاف الجوى : تغير المناخ والترسيب الحامضى

قدمنا وصفاً للغلاف الجوى فى الفصل الثانى، وفى هذا الفصل سوف نناقش ظاهرتين مهمتين فى الغلاف الجوى مرتبطتين بنشاط الإنسان وتطوره وهما: تغير مناخ العالم والترسيب الحامضى، ولكل منهما تأثيرات عديدة وعلاقات متبادلة مع الأرضى.

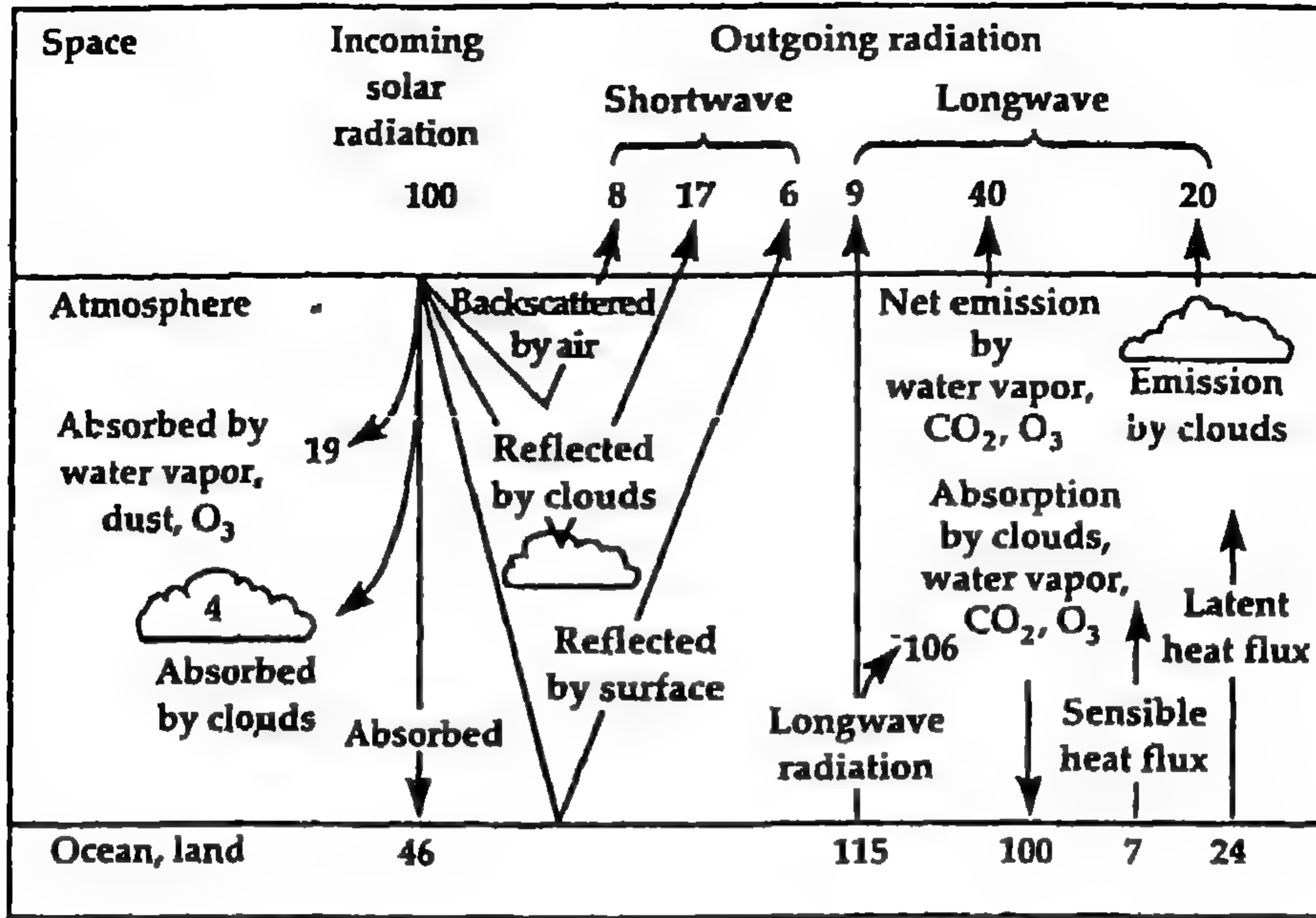
١٠ - ١ تغير المناخ العالمى:

تشير التدفئة العالمية إلى إمكانية ازدياد متوسط درجة حرارة الهواء على مستوى العالم باستمرار بسبب التغير المستمر فى تركيزات الغازات المختلفة فى الغلاف الجوى، وتسبب هذه الغازات ظاهرة تأثير الصوبة (الفيئة)، التى تسمح للغلاف الجوى أن يحبس طاقة مشعة، وهى من ناحية أخرى تشع وتهرب بعيداً عن الأرض، وكما نعرف يسمح تأثير الصوبة بوجود الحياة. وبدون تأثير الصوبة هذا فإن سطح الأرض يمكن أن يكون أبرد مما هو عليه الآن بمقدار ٣٣°م. وأسوء الحظ، فإن التغيرات المناخية يحتمل حدوثها كلما يزداد متوسط درجة حرارة العالم. وهذه التغيرات غير قابلة للتنبؤ بها نسبياً، هذا إلى جانب أن المعرفة بأن حرارة العالم الآخذة فى التزايد سوف تؤثر فى القوى الدافعة للطقس، وقد تسبب التغيرات فى المناخ اختلافات متزايدة فى درجات الحرارة والأمطار، فقد يزداد الجفاف وتزداد أيضاً الفترات الساخنة وتصبح أمورا مألوفة. وقد يخضع كل من الترسيب السنوى وتوزيع الأمطار للتغير على مدار السنة، مما قد يؤثر بطريقة مثيرة على أماكن إنتاج الغذاء وكيفية إنتاجه.

وهناك مثال بسيط يوضح تأثير الصوبة نجده في سيارة منتظرة في الخارج في يوم مشمس ونوافذها مغلقة ؛ فتمر الأشعة الشمسية خلال الزجاج وتدفى السطوح الداخلية للسيارة؛ حينئذ تشع هذه السطوح تلك الحرارة في الهواء في داخل السيارة، غير أن الزجاج يقوم بمنع الهواء الساخن والإشعاع المنبعث من الهروب، وبذلك ترتفع درجة الحرارة داخل السيارة. وتحدث نفس الظاهرة في الغلاف الجوى للأرض؛ فتدفى أشعة الشمس القادمة سطح الأرض، ثم يرتد إشعاع الحرارة إلى الجو. وتعمل غازات الصوبة مثل الزجاج في مثال السيارة المذكور وتمنع جزءاً من الحرارة من الهروب إلى الجو. وكلما يزداد تركيز غازات الصوبة، كلما تزداد الحرارة المحبوسة. وللأشعة الشمسية القادمة طاقة كافية لكي تمر خلال الغلاف الجوى. وتمتص غازات الصوبة الأشعة تحت الحمراء التى يعاد انبعاثها - والمقاسة في شكل حرارة - وتصبح الطاقة محبوسة في الغلاف الجوى. وتسمى الغازات التى تمتص الأشعة تحت الحمراء بالغازات النشطة إشعاعياً.

ويمكن إيضاح تأثير الصوبة من ميزان الطاقة الكونية الموصوف في شكل ١٠ - ١. فعندما تدخل ١٠٠ وحدة من أشعة الشمس القادمة إلى الغلاف الجوى ينعكس ٣١ وحدة منها إلى الفضاء. ويمتص سطح الكرة الأرضية (الأرض والمحيطات) ٤٦ وحدة من الوحدات الباقية، وتستخدم هذه جزئياً في التسخين المباشر للغلاف الجوى (تدفق الحرارة المحسوسة) وفي تبخير المياه (تدفق الحرارة الكامنة). وهناك ١٠٠ وحدة من الأشعة تحت الحمراء الممتصة بواسطة السحب، وبخار الماء، وثنائى أكسيد الكربون، والأوزون في الغلاف الجوى تتبعث لأسفل إلى سطح الكرة الأرضية، بالإضافة إلى الـ ٤٦ وحدة الممتصة بواسطة سطح الكرة الأرضية مباشرة من الأشعة القادمة من الشمس، وهذا يجعل سطح الكرة الأرضية يسخن بدرجة أعلى من فعل الأشعة القادمة من الشمس بمفردها. وبذلك يسبب تأثير الصوبة الراجع للنشاط البشرى زيادة في تدفق الأشعة تحت الحمراء لأسفل في اتجاه سطح الكرة الأرضية.

ويسبب ذلك، فإن الزيادة في متوسط درجة حرارة العالم أصبحت نتيجة متوقعة. على أن التقدير الفعلى لمتوسط درجة حرارة العالم أمر مثير للخلاف والجدل في حد ذاته ؛ حيث إن متوسط درجة حرارة العالم عبارة عن المتوسط لمتوسطات درجة

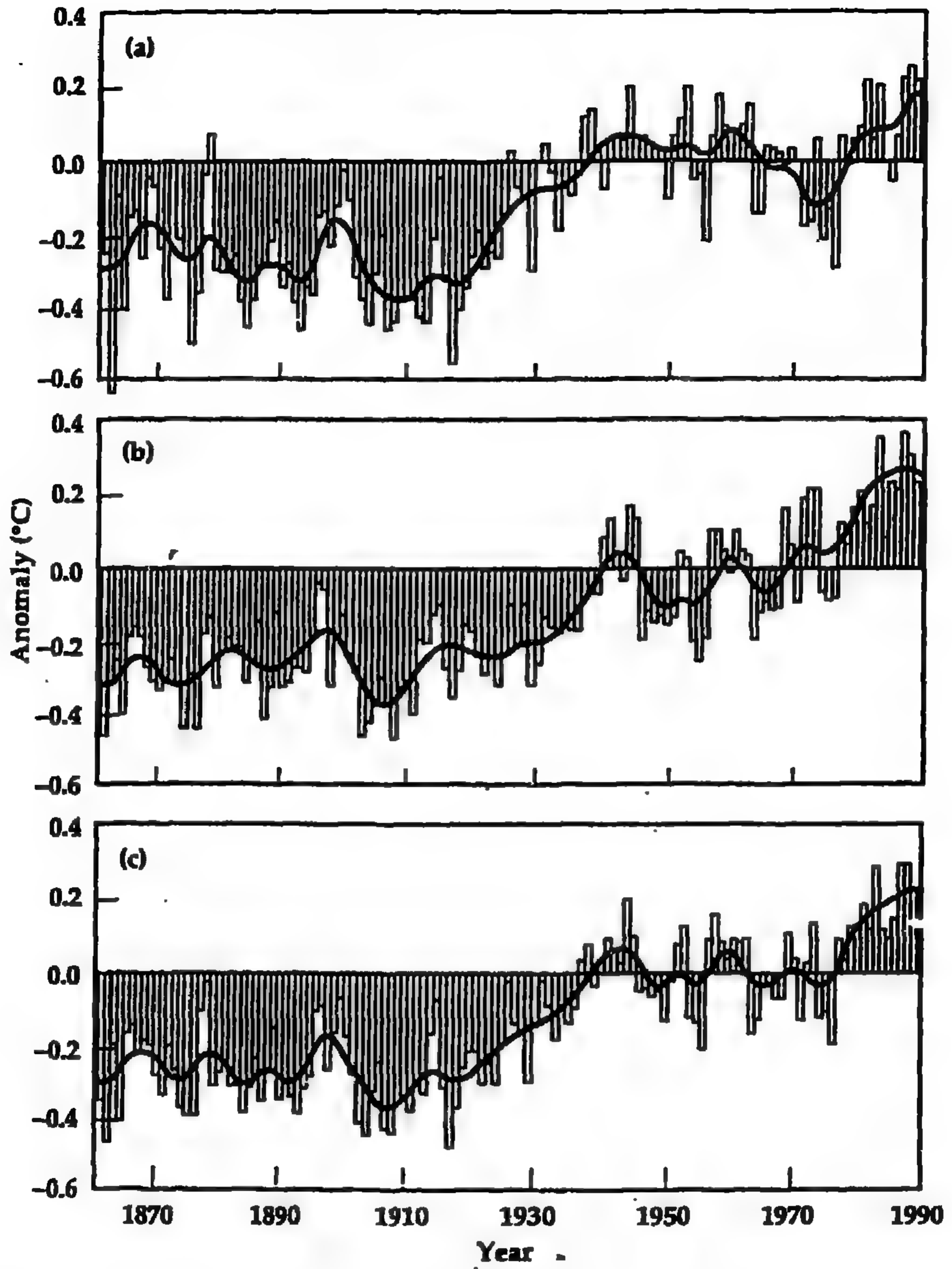


شكل ١٠ - ١ ميزان الطاقة على مستوى العالم بوحدة من المائة من الإشعاع الشمسي الساقط. (MacCracken and Luther , 1985)

الحرارة السنوية لعدد من المواقع المنتشرة على الكرة الأرضية، ومتوسط الحرارة السنوية لموقع معين عبارة عن متوسط درجتى الحرارة العليا والدنيا لكل يوم فى السنة، ولا يتفق الخبراء حول كيفية الحصول على قياس ممثل بدون أن يتأثر بالحرارة المشعة من مناطق العواصم أو بالنقص فى الملاحظات فوق المحيطات التى تغطى معظم سطح الكرة الأرضية، وبالرغم من عدم الاتفاق هذا، فإنه يعتقد بصفة عامة أن متوسط درجة حرارة العالم ازداد بمقدار ٠.٤ - ١.٠[°]م فوق متوسط درجة الحرارة للمائة سنة الأخيرة . ويوضح شكل ١٠ - ٢ اتجاه زيادة درجة الحرارة، ومعروف أن أكثر ست سنوات دفئا حدثت فى الفترة بين ١٩٨٠، ١٩٩٠، ولا تزال الملاحظات عن درجة الحرارة تقع فى داخل حدود التغيرات الطبيعية

المناخ، ويوجد علاوة على ذلك عدم اتفاق حول ما إذا كانت أى اتجاهات العقدين الماضيين سوف تستمر. واستناداً إلى قواعد المنهج العلمى التى نوقشت فى الفصل الأول، فإن المرء لا يستطيع مع ذلك أن يستنتج أن تدفئة الكرة الأرضية أصبحت أمراً حقيقياً. ولقد استخدم البعض هذه الحقيقة لتبرير نقص الأفعال التى تهدف إلى تخفيض كميات غازات الصوبة المنبعثة إلى الغلاف الجوى. ومن الصعب أيضاً أن نقدر مقدار التغير المحتمل فى مناخنا الراجع إلى التغير ببضع درجات قليلة فقط، ولكى تضع هذا فى منظور محدد وفقاً لأهميته النسبية وعلاقاته الصحيحة، ينبغى أن تضع فى اعتبارك أن درجة حرارة المناخ ازدادت بمقدار خمس درجات فقط منذ العصر الجليدى الماضى.

وتستخدم نماذج محاكاة المناخ على نطاق العالم (GCMs) للتنبؤ بتأثير زيادة تركيزات غازات الصوبة على مكونات المناخ. وفى الحالة النمذجية، تقوم النماذج بمقارنة المناخ بتركيز مضاعف من غاز ثانى أكسيد الكربون الجوى، وهى حالة يحتمل أن تحدث على الأرجح فى منتصف القرن الحادى والعشرين. ويبين جدول ١٠ - ١ التغيرات فى الترسيب السنوى ودرجة الحرارة السنوية التى أمكن التنبؤ بها بمضاعفة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى فى ثلاث نماذج تحاكي مناخ ثلاث مناطق فى الولايات المتحدة. واتفقت جميع النماذج فى التنبؤ بزيادة قدرها ٣°م فى متوسط درجة الحرارة. ولم تتفق النماذج فى التنبؤات الخاصة بالترسيب السنوى، حيث كان هناك مدى اختلاف قدره ١١°م للسم للنماذج الخاصة بمنطقة الهضاب العظمى. وفى ضوء زيادة قدرها ٣°م - ١٠°م فى درجة الحرارة، فإن اختلاف قدره ١١°م فى الترسيب السنوى يصبح مهماً. وتوضح المعلومات أيضاً أن تأثير الصوبة الراجع إلى أنشطة الإنسان سوف يختلف تبعاً للمنطقة. ويوجد قدر كبير من الشك وعدم الثقة فى مجال نمذجة محاكاة المناخ.



شكل ١٠ - ٢ درجات الحرارة المتحده من درجات حرارة هواء الأرض ودرجات حرارة سطح البحر للفترة من عام ١٨٦١ - ١٩٨٩ للنصف الشمالي من الكرة الأرضية (a) ، والنصف الجنوبي من الكرة الأرضية (b) ، ومتوسط درجة حرارة العالم (c). وحدات المحور الصادي عبارة عن الاختلاف (الفرق) عن المتوسط للمدة ١٩٥١ - ١٩٨٠.

(Wuebbles and Edwards , 1991.)

ومن المعروف أن تركيزات أهم خمسة غازات ضمن غازات الصوبة - والتي تعزى إلى أنشطة الإنسان - قد ازدادت بدرجة كبيرة منذ عصور قبل الصناعة؛ وهذه الغازات الخمسة هي : ثاني أكسيد الكربون ، والميثان ، وأكسيد النيتروز N_2O ، والكلورو فلورو كربون CFCs ، والأوزون ، وهذه التركيزات مدونة في جدول ١٠ - ٢ جنباً إلى جنب مع بعض المعلومات العامة عن كل غاز، ولقد تم التعبير عن فعالية كل غاز بقوة الإشعاعية بالنسبة لثاني أكسيد الكربون.

جدول ١٠ - ١ التغيرات التي تم التنبؤ بها في درجات الحرارة السنوية والترسيب السنوي في ثلاث مناطق أمريكية بواسطة ثلاث نماذج محاكاة للمناخ تفترض مضاعفة تركيزات ثاني أكسيد الكربون الجوي.

نموذج			
C	B	A	
التغير المحتمل في درجة الحرارة السنوية (م):			
٣ر٤	٦ر٢	٤ر٥	البحيرات الكبيرة
٣ر٤	٥ر٠	٤ر٥	الهضاب الكبيرة
٣ر٥	٤ر٦	٤ر٦	الجنوبية الشرقية
التغير المحتمل في الترسيب السنوي (سم):			
٣ر٧	١ر٦	٤ر١	البحيرات الكبيرة
١ر٨	٢ر٣	٩ر١ -	الهضاب الكبيرة
٢ر٢	٣ر٠ -	٩ر١	الجنوبية الشرقية

(White, 1990.)

ومجمل القول، أن قوة الإشعاع تمثل سعة جزئ واحد من غاز الصوبة لامتناس الأشعة تحت الحمراء مقارنة بجزئ واحد من ثانى أكسيد الكربون. وتمتص غازات الميثان ، وأكسيد النتروز ، والكلوروفلوروكربون ، والأوزون الأشعة تحت الحمراء بكفاءة أكثر من ثانى أكسيد الكربون ، وهذا هو السبب فى مساهمة هذه الغازات الأربعة بنسب معنوية فى تأثير الصوبة الراجع إلى النشاط البشرى بالرغم من وجودها بتركيزات منخفضة نسبياً فى الغلاف الجوى.

ويوجد غاز ثانى أكسيد الكربون فى الجو فى أعلى تركيز، وبمعامل لا يقل عن ٢٠٠، مقارنة بغازات الصوبة الأخرى، ولذلك فله أعلى مساهمة نسبية فى تأثير الصوبة الراجع للإنسان ؛ فهو يساهم بحوالى ٦٠٪ تقريباً من تأثير الصوبة. وهو أقل غازات الصوبة فعالية، ومع ذلك، فإن مساهمته فى تدفئة الكرة الأرضية أساسية، وذلك راجع لكمياته الكبيرة الموجودة. وتعتبر مصادر ثانى أكسيد الكربون الرئيسية هى احتراق الوقود الحجرى وإزالة الغابات. ويساهم غاز الميثان بحوالى ١٥٪ من تأثير الصوبة، وهو ينتج من التمثيل اللاهوائى للمركبات الكربونية. وتوجد مثل هذه الظروف اللاهوائية فى الأراضى المغمورة وفى معدة الحيوانات المجترة. ويساهم غاز أكسيد النتروز بحوالى ٥٪ من تأثير الصوبة ؛ وهو ينشأ كنتيجة لاستخدام الأسمدة النتروجينية، والاستخدام غير المناسب للتربة، واحتراق الوقود الحجرى. ومركبات الكلور فلوروكربون عبارة عن مجموعة من الغازات تساهم بحوالى ١٢٪ من تأثير الصوبة. وتعد هذه المجموعة أكثر غازات الصوبة فعالية، وتوجد فى الغلاف الجوى بتركيزات أقل من واحد جزء فى البليون pbb؛ وتعتبر أقل جميع غازات الصوبة تركيزاً فى الغلاف الجوى. كما تحتل المركز الثالث من ناحية كبر مساهمتها فى التأثير. وأخيراً، هناك اعتقاد بأن الأوزون فى طبقة التروبوسفير هو المسئول عن ٨٪ من تأثير الصوبة الراجع للإنسان، وينتج الأوزون خلال عدد من العمليات المرتبطة بالبيئات الحضرية، وهو ملوث للجزء السفلى من الغلاف الجوى. ويعتبر بخار الماء أيضاً غاز نشط وغاية فى الأهمية من ناحية قوته الإشعاعية بالرغم من عدم تغير تركيزات بخار الماء فى الجو بصفة عامة كنتيجة مباشرة لنشاط الإنسان. ومع ذلك، فسوف يشجع

المناخ الأدفأ تبخير كميات أكبر على مستوى العالم؛ ويساهم بخار الماء الإضافى هذا على الأرجح فى تدفئة إضافية.

ويمكن للأراضى أن تكون مصدراً أوبالوعة لغازات ثانى أكسيد الكربون، والميثان، وأكسيد النتروز؛ وسوف نناقش هذه الغازات فى هذا الفصل. ولا تلعب الأراضى دوراً فى تدوير الأوزون أو مركبات الكلوروفلوروكربون، ولذلك فستكون التعليقات على هذه الغازات مختصرة. وتستخدم غازات الكلوروفلوروكربون بصفة أساسية كمبردات وفى الإيروسولات - وهى تمتاز عن غيرها فى أنها عبارة عن فئة من المركبات يمكن منع دخولها إلى الغلاف الجوى (أى الاستغناء عنها) بشرط تطوير بدائل أقل ضرراً. وهذه نقطة مهمة طالما أن غازات الكلوروفلوروكربون أشد غازات الصوبة تأثيراً وفعالية، وقد تم التوصل أيضاً إلى أنها تشارك فى هدم وإبادة الأوزون فى الغلاف الجوى العلوى، وحيث إن الأوزون ملوث للغلاف الجوى السفلى، فالجهود بالفعل جارية لكى تخفض مدخلات الأوزون للغلاف الجوى، وسيكون لها تأثيرات مفيدة فى تخفيض تدفئة الكرة الأرضية.

١٠ - ١ - ١ ثانى أكسيد الكربون :

يمكن معرفة سبب تزايد تركيزات ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى عن طريق فحص دورة الكربون العالمية (شكل ١٠ - ٣). وفى فترة ما قبل الانفجار السكانى على الكرة الأرضية، كانت تركيزات ثانى أكسيد الكربون ثابتة بصفة أساسية، وكانت جميع الكتلة الحيوية على الأرض بصفة أساسية عند حالة الذروة بالنسبة للكساء النباتى، وكان ثانى أكسيد الكربون المنطلق عن طريق تحلل المادة النباتية الميتة متوازناً مع ثانى أكسيد الكربون الممتص بالنباتات النامية. وكانت جميع مساهمات الكربون الأخرى ثابتة نسبياً. وكان تأثير الإنسان منصباً بالضرورة على أخذ الكربون المخزن فى الوقود الحجرى المكتشف وفى الغابات ووضعه فى الجو - بعد أن يتم تحويله إلى ثانى أكسيد الكربون - بمعدل أسرع من إزالته بالنباتات النامية أو بالامتصاص فى المحيطات. ويوضح شكل ١٠ - ٤ تركيزات ثانى أكسيد الكربون

الجوى، مقدرة فى عينات مأخوذة من الهواء (منذ عام ١٩٥٠ تقريباً) وفى عينات أخرى مأخوذة من الهواء المحبوس فى قلب الجليد (قبل عام ١٩٥٠) لفترة ٢٥٠ سنة الأخيرة.

ويوضح حاصل جمع معدلات تحول الكربون فى شكل ١٠ - ٣ أن صافى تحول الكربون فى الغلاف الجوى هو ٢ - ٥ جيجابطن (GT) فى السنة (جيجابطن = ١٠^٩ طن مترى). ويتم تعويض كمية ٦ - ٨ جيجابطن/ سنة التى تدخل الغلاف الجوى من احتراق الوقود الحجرى وإزالة الغابات جزئياً بواسطة صافى تحول الكربون فى المحيطات وقدره ٣ جيجابطن/ سنة. ويتحكم الإنسان جزئياً فى ثلاث عمليات فى دورة الكربون، وهى: إزالة الغابات، واحتراق الوقود الحجرى، وبدرجة أقل فى كمية الكربون الممتص بواسطة النباتات النامية، ويتم تخزين الكربون المستخدم لنمو النبات فى أجزاء النبات التى فوق سطح الأرض أو التى فى باطن الأرض أثناء حياة النبات. ويبقى بعض الكربون فى التربة فى هيئة مادة عضوية بعد أن يموت النبات ويتحلل.

ويُعدُّ دور الأراضى فى تدوير الكربون على نطاق الكرة الأرضية مختلفاً تماماً. أولاً، تحتوى الأراضى وفتات الصخور ١٢٠٠ جيجابطن كربون، وهو يمثل أحد المستودعات الأكبر للكربون فى دورته العالمية. وتقوم النباتات بتثبيت ثانى أكسيد الكربون الجوى أثناء نموها، وتقوم الكائنات الدقيقة فى التربة بتحليل النباتات الميتة، وتعيد جزءاً من الكربون إلى الغلاف الجوى فى هيئة ثانى أكسيد كربون، وتحفظ جزءاً من الكربون فى هيئة مادة عضوية فى التربة. ومن الواضح، فإن أهمية الأراضى فى تخزين الكربون لا يجب التغاضى عنها. وفى الحقيقة، فعندما يتم تحويل أراضى منطقة نباتات طبيعية لتستخدم للإنتاج الزراعى، فإنها سوف تخسر بدرجة نموذجية ٢٥ - ٥٠٪ من مادتها العضوية، ما لم يتم إدارتها كما ينبغى. وعندما يحدث تعرية للتربة، يصاحبه أيضاً فقد للكربون فى المادة المزالة. وقد تم اقتراح زيادة محتوى التربة من المادة العضوية كوسيلة لإيقاف ارتفاع مستويات ثانى أكسيد الكربون الجوى. وهذا يمكن تنفيذه عن طريق إدارة مخلفات الحيوانات (إعادة جميع المخلفات الحيوانية للأراضى)، وتقليل كثافة الحرث (يحافظ على

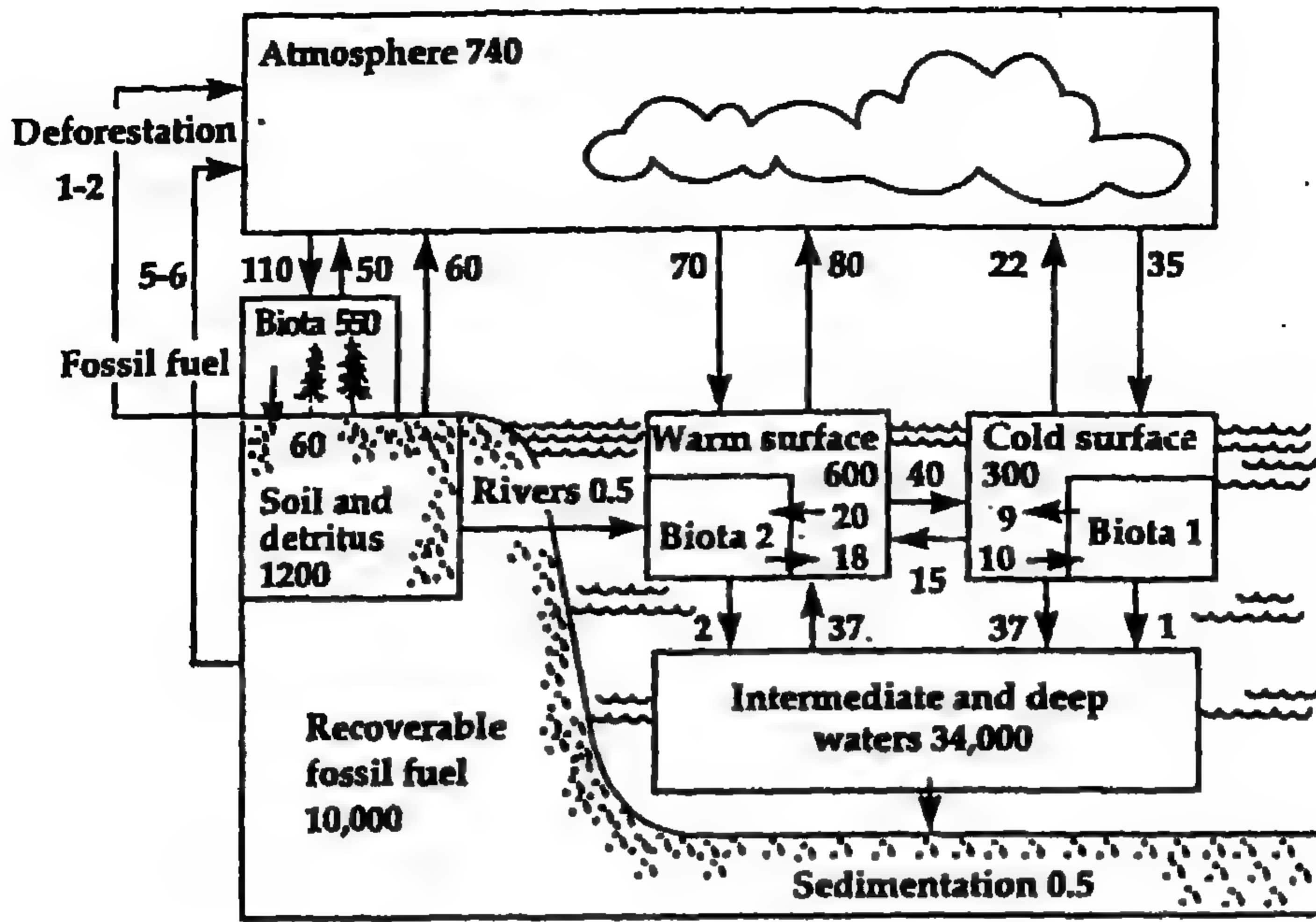


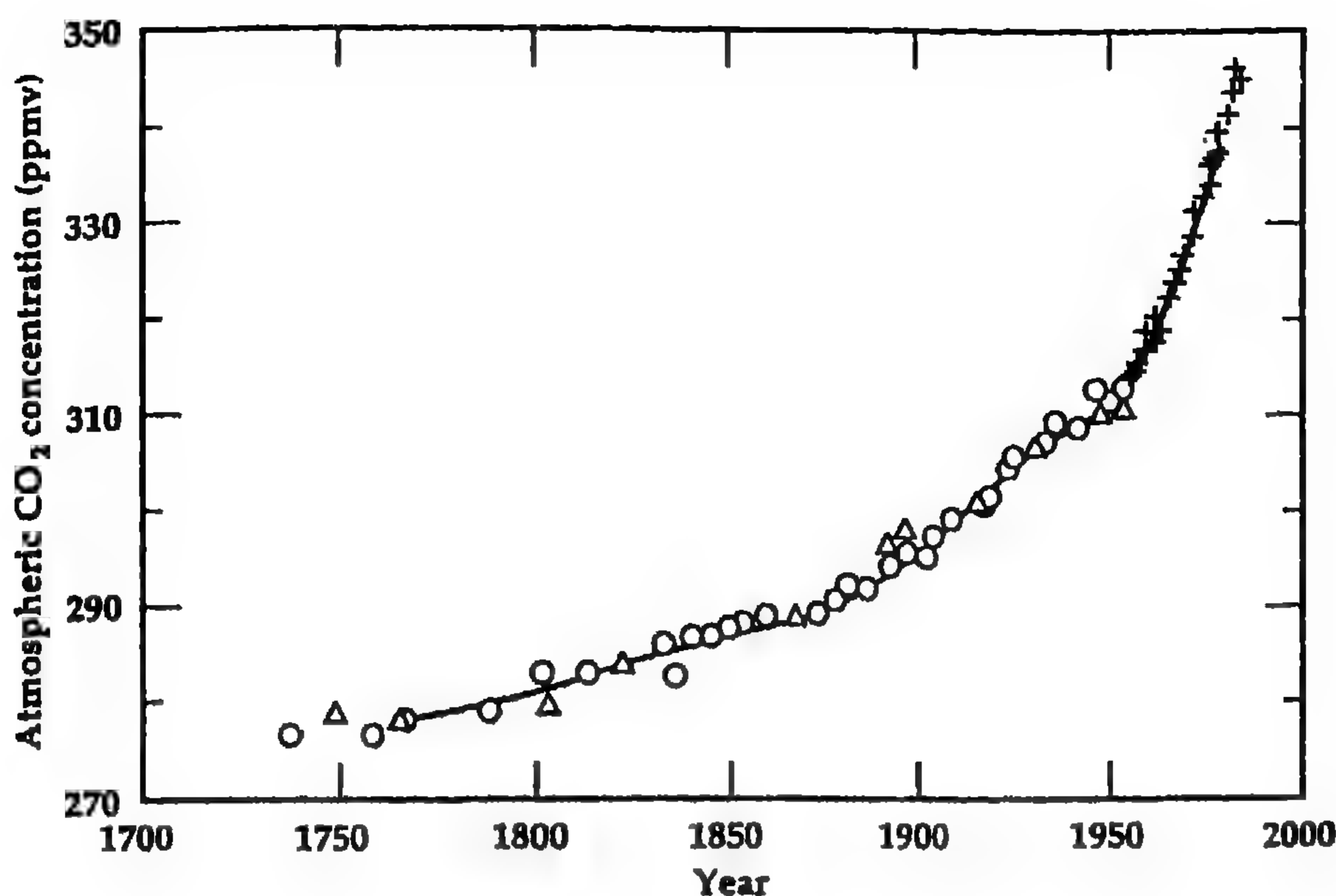
Figure 10-3 The global C cycle (in Gt/year). (From Moore, 1988.)

شكل ١٠ - ٢ دورة الكربون العالمية (جيجا طن / سنة).

(Moore , 1988.)

المادة العضوية في التربة)، والتقليل إلى أدنى درجة عملية حرث الأرض وتركها للراحة بدون زراعة، وزراعة حشائش أكثر ونباتات بقولية عميقة الجذور، وتعظيم إعادة بقايا المحاصيل إلى الأراضي. وتساعد جميع هذه الممارسات في تقليل تعرية التربة بالإضافة إلى زيادة كمية الكربون العائد إلى التربة. ولقد تم تقدير أن ٦٣ مليون طن متري من الكربون لكل سنة يمكن أن تخزن في الأراضي الزراعية فقط بالولايات المتحدة، وهي حوالي ٥ ٪ من صافي تحول الكربون في الغلاف الجوي.

واستهلاك الطاقة بواسطة الزراعة هو مجال آخر مهم بالنسبة لمساهمات ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي، ويتطلب إنتاج الغذاء مدخلات الطاقة المباشرة من مصادر الوقود المختلفة المستخدمة في ميكنة وتجفيف المحاصيل، وكذلك مدخلات



شكل ١٠ - ٤ تركيزات ثاني أكسيد الكربون الجوى من أزمنة ما قبل الصناعة إلى الوقت الحالى، كما قدرت فى عينات مأخوذة من الهواء المحبوس فى قلب الجليد (قبل عام ١٩٥٠) لفترة ٢٥٠ سنة الأخيرة، وفى عينات مأخوذة من الهواء القلبي (منذ عام ١٩٥٠ تقريباً).
(Lashof and Tirpak, 1989.)

الطاقة المستخدمة بطريقة غير مباشرة من صناعة المبيدات والأسمدة وتوليد الكهرباء. ويوضح جدول ١٠ - ٢ انبعاثات الكربون المقدرة من استهلاك الطاقة فى الزراعة بالولايات المتحدة. وتنتج صناعة السماد أغلبية انبعاثات الكربون، وتمثل ٢٠٪ من الإجمالى. ويعكس الانخفاض فى انبعاثات الكربون من ١٩٧٤ إلى ١٩٨٤ التحول من استعمال الجازولين إلى معدات احتراق وقود ديزل أكثر كفاءة. وتقدر انبعاثات الكربون الكلية من الزراعة بالولايات المتحدة بأقل من ١٪ من صافى تحول الكربون فى الغلاف الجوى. وبينما يبدو هذا على أنه غير معنوى من وجهة النظر العالمية، فإن أهميته تصبح واضحة إذا اعتبر المرء أن الاتجاه على مستوى العالم أن تكون الزراعة مكثفة للطاقة مثل الزراعة فى الولايات المتحدة. وعلى سبيل المثال، ازداد استخدام

جدول ١٠ - ٣ الانبعاثات المقدرة للكربون من استهلاك الطاقة بواسطة الزراعة في الولايات المتحدة في عام ١٩٧٤ وعام ١٩٨٧.

انبعاثات الكربون (مليون طن)		
مصدر الطاقة:	١٩٧٤	١٩٨٧
طاقة مباشرة:		
جازولين	١٠.٣	٤.٢
ديزل	٨.٠	٨.٩
غاز LP	٢.٠	٠.٩
غاز طبيعي	٢.٢	٠.٩
طاقة استثمارية:		
كهرباء	٥.٥	٦.١
سماد	٩.٥	٩.٩
مبيدات	١.٨	٢.٤
المجموع	٣٩.٣	٣٣.٢

(Bird and Strange, 1992.)

السماد بدرجة كبيرة في آسيا وفي الاتحاد السوفيتي السابق خلال الـ ٢٥ سنة الماضية. ومن هذا المنظور، تعتبر الجهود لتخفيض استخدام الطاقة في إنتاج الغذاء اقتصادية.

وعموماً، تتجه إستراتيجيات التعامل مع زيادة مستويات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي نحو مسارات تخفيض مدخلات ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف

الجوى أو زيادة كمية الكربون المخزن في مستودعات الكربون المختلفة ، ويشمل الاتجاه الأول الجهود التى تستطيع أن تخفض انبعاثات الكربون بطريقة مباشرة مثل:

(١) زيادة كفاءة الوقود.

(٢) زيادة استخدام مصادر الطاقة التى تعتمد على وقود غير حجرى (مثل: الرياح، الطاقة الشمسية، الطاقة النووية).

(٣) منع انجراف التربة.

(٤) إبطاء إزالة الغابات.

ويشمل الاتجاه الثانى الجهود التى لها القدرة على زيادة كمية الكربون المخزن مثل:

(١) إعادة التخصير أو إعادة الزراعة (لمناطق الغابات، أراضى الحشائش).

(٢) زيادة مستويات الكربون فى التربة.

(٣) تشجيع إعادة الاستخدام المفيد لمواد المخلفات العضوية (الأسمدة العضوية، الحماة، ... إلخ).

ولعل القارئ يتذكر القدر الهائل لكميات الكربون التى تحتاج التعامل معها. وسوف تتطلب التغيرات الكبيرة فى حجم أى مستودع (مصدر) كربون درجة عالية من التعاون على نطاق العالم. وستكون أقصى نتيجة مرجوة هى النقص فى معدل زيادة مستويات ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى. وتعكس هذه الأفعال التغيرات التى يجب أن تعمل بصرف النظر عن مشكلة التدفئة العالمية ؛ فعلى سبيل المثال، هناك عدد من المبررات لوجوب منع تعرية التربة أو وجوب تحسين كفاءة الوقود. وإذا كانت تدفئة العالم تحدث بدرجة أقل خطورة عما هى عليه الآن، فإن الموارد المصروفة على تلك الأفعال لم تنفق هباءً.

ولقد نوقشت باختصار الصعوبات فى التنبؤ بتأثير تدفئة العالم على المناخ، ومما يزيد تعقيدات الحالة هى الاستجابة المحتملة للنباتات نفسها لتركيزات ثانى أكسيد الكربون المتزايدة، بدون اعتبار تأثير تغير المناخ على الإنتاج النباتى.

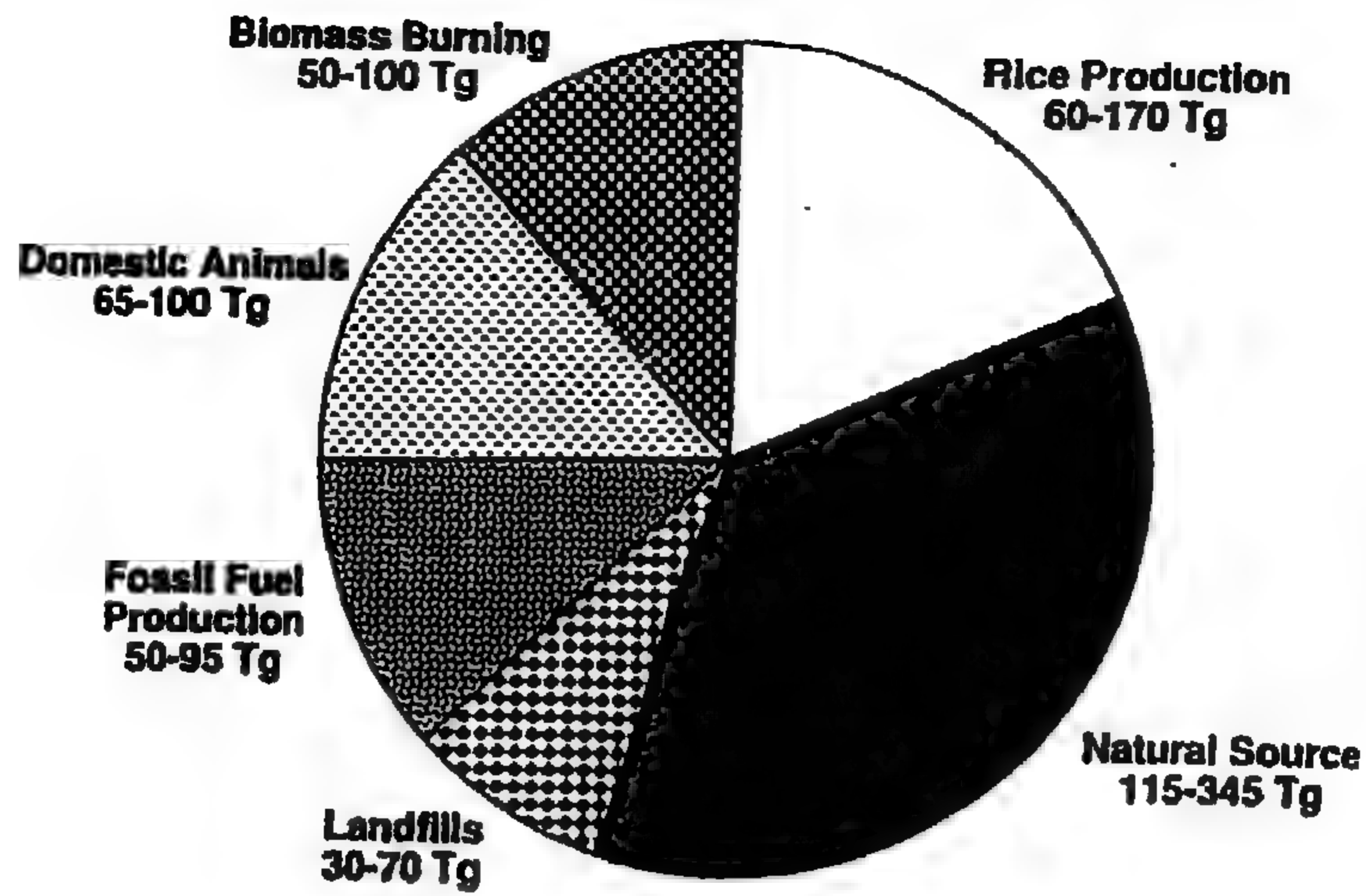
وتقع معظم النباتات فى إحدى فئتين عامتين اعتماداً على الاختلافات فى طريقتهما البيوكيميائية لتثبيت ثانى أكسيد الكربون الجوى؛ فنباتات الفئة الثالثة C_3 (مثل: القمح، فول الصويا، القطن) تأخذ ثانى أكسيد الكربون من الهواء فى داخل خلايا الميزوفيل؛ حيث تقوم بورة كالفن بتحويله إلى سكروز؛ ونباتات الفئة الرابعة C_4 (مثل: الذرة، الذرة السكرية، الدخن) أيضاً تأخذ ثانى أكسيد الكربون من الهواء فى داخل خلايا الميزوفيل، ولكن ثانى أكسيد الكربون المثبت (فى هيئة جزئ) ينتقل إلى خلايا غمد الحزمة؛ حيث تحدث بورة كالفن، وهذا «الضخ» "Pumping" لثانى أكسيد الكربون من خلايا الميزوفيل إلى داخل خلايا غمد الحزمة يحفظ تدرج أكبر لتركيز ثانى أكسيد الكربون بين الهواء الجوى وخلايا الميزوفيل، وهذا يزيد قدرة نباتات الفئة الرابعة C_4 لتمثيل ثانى أكسيد الكربون، وبناء على ذلك، تعد نباتات الفئة الرابعة C_4 مستخدمات أكثر كفاءة لثانى أكسيد الكربون.

أما نباتات الفئة C_3 - والتي تعد مستهلكات أقل كفاءة لثانى أكسيد الكربون - سوف تزيد بالفعل معدلاتها فى البناء الضوئى استجابة (لتركيزات ثانى أكسيد الكربون المتزايدة، بشرط أن لا تكون عوامل النمو الأخرى محددة، وعلى ذلك، فالمرء يمكنه أن يتنبأ بزيادة النمو لنباتات C_3 كلما ازدادت مستويات ثانى أكسيد الكربون، وسوف تستجيب أيضاً النباتات C_4 بطريقة إيجابية لتركيزات ثانى أكسيد الكربون المتزايدة، بالرغم أنها لا تصل إلى الدرجة التى تستجيب لها نباتات C_3 . وتميل كل من نباتات C_3 ، C_4 إلى استخدام الماء بكفاءة أكثر عندما تكون مستويات ثانى أكسيد الكربون أعلى. وهذا بسبب أن الثغور (الفتحات فى الأوراق التى تعتبر وسيلة تبادل الغاز والماء بين النباتات والهواء الجوى) لا تفتح كثيراً فى البيئة الغنية بثانى أكسيد الكربون مقارنة بالظروف العادية، كما يفقد ماء أقل خلال عملية البناء الضوئى. ويحدث هذا التأثير بدرجة أكبر مع نباتات C_4 . أما فى حالة نباتات C_3 فتوجد أيضاً زيادة فى نمو النبات بدون زيادة فى استخدام الماء. كما أن كلا من نباتات C_3 ، C_4 يمكنها أن تكون أكثر كفاءة فى استخدامها للعناصر الغذائية، وبصفة خاصة النتروجين، مما يعد استجابة إيجابية.

ولسوء الحظ، يعتبر الماء والعناصر الغذائية بالفعل هي العوامل الرئيسية المحددة لنمو النبات على معظم اليابسة، وهذا على الأرجح سوف يظل على هذا الحال كلما تغير المناخ. وبكل وضوح، لو كانت الزيادات في الإنتاج النباتي على المستوى الكبير ممكنة بسبب الزيادة في مستويات ثاني أكسيد الكربون الجوي، يلزم عن ذلك إذن عدم ارتفاع تركيزات ثاني أكسيد الكربون الجوي مثلما هي عليه اليوم. وبالرغم من ذلك، فزيادة إنتاج الكتلة الحية تقلل على الأرجح قيمة الزيادة في تركيزات ثاني أكسيد الكربون الجوي. وقد يصبح الماء أكثر من عامل محدد في ضوء زيادة درجة الحرارة.

١٠ - ١ - ٢ الميثان:

ينتج الميثان بواسطة بكتريا الميثان في أى وقت تتحلل فيه المادة العضوية لا هوائيا. وتوجد هذه الظروف من الناحية النموذجية في الأراضي الغدقة (المغمورة)؛ وفي الجهاز الهضمي للحيوانات المجترة؛ وفي الحالات التي تخزن فيها المخلفات العضوية أو يتم تداولها في صورة سائلة، كما هو الحال غالبا بالنسبة للأسمدة الحيوانية وحمأة المجارى. وقد قام الإنسان بزيادة تركيزات الميثان في الهواء الجوي عن طريق زيادة كمية الكربون التي يتم تمثيلها لاهوائيا. والميثان مشابه لثاني أكسيد الكربون ؛ حيث كانت تركيزات الميثان الجوي ثابتة نسبيا قبل الزيادة الهائلة في عدد سكان الكرة الأرضية ، وكانت الأراضي الرطبة والحيوانات المجترة الأصلية هي المصادر الرئيسية للميثان في ذلك الوقت. أما اليوم فتوجد مصادر أخرى تضيف الميثان إلى الهواء الجوي مثل: مزارع الأرز، والحيوانات المجترة الأليفة، ومدافن المخلفات العضوية، واستخدامنا الشخصي للميثان كوقود. ويوضح شكل ١٠ - ٥ تحليل الانبعاثات السنوية العالمية للميثان على أساس مصدرها. ومن بين جميع غازات الصوبة، تعد انبعاثات الميثان هي الأعظم ارتباطا وثيقا بإنتاج الغذاء على أساس عالمي. ولقد قُدِّرَ أن ٤٠٪ من انبعاثات الميثان العالمية مصدرها مزارع الأرز ومن عمليات الهضم للحيوانات الأليفة فقط وتداول مخلفاتها.



شكل ١٠ - ه المصادر الحالية لانبعاثات الميثان العالمية.
(Burke and Lashof, 1990.)

الميثان غاز صوبة أكثر فعالية عن ثاني أكسيد الكربون، ويبلغ تركيزه في الهواء الجوى حوالى ١٧٠٠ جزء في البليون، وهو يساهم بمقدار ١٥٪ في تأثير الصوبة الزجاج لنشاط الإنسان، والشئ الفريد للميثان هو قصر دورة حياته في الهواء الجوى والتي تبلغ ١٠ سنوات مقارنة بثانى أكسيد الكربون، وأكسيد النتروز، ومركبات الكلورفلوروكربون (جدول ١٠ - ٢). ويعتبر مصير الميثان الجوى غير مفهوم تماماً، ومن المعروف أن بكتريا التربة المسئولة عن التأزت يمكنها أن تؤكسد الميثان وكذلك الأمونيوم. ولذلك، فالأراضى جيدة التهوية المنخفضة في النتروجين يمكن أن تكون بالوعة للميثان. ومع ذلك يتبدد معظم الميثان عن طريق التفاعل مع مجموعات الهيدروكسيل الموجودة في التروبوسفير. وتقترح أيضاً قصر فترة حياة الميثان أن الجهود التى تبذل لتخفيض انبعاثات الميثان يمكن أن تكون مؤثرة في إبطاء الزيادة في معدل الدفء العالمى.

ومن الصعب تنفيذ الجهود التي تخفض مباشرة انبعاثات الميثان الناتجة من إنتاج الغذاء بسبب زيادة تعداد السكان والطلب على الغذاء فى مناطق من العالم؛ حيث يُعدّ الأرز هو المصدر الرئيسى للغذاء. وبالإضافة إلى ذلك، فإن غذاء قطاعات كبيرة من سكان العالم منخفض الجودة، ومع مرور الزمن حدث تحسن فى الغذاء عن طريق زيادة نسبة اللحوم فى الغذاء. وهذا يتطلب بالتالى زيادة أعداد الحيوانات الأليفة فى بعض المناطق من العالم. وقد تصبح الأبحاث قادرة على تخفيض كمية الميثان الناتج لكل وحدة أرز ناتجة. ويمكن إنجاز ذلك بواسطة تربية الأرز بنسبة «حبوب: قش» أعلى، وهى نسبة تؤدى إلى إنتاج كمية قش أقل صالحة للتحلل اللاهوائى؛ أو بواسطة زيادة نسبة سلالات الأرز النجدي (التي تنمو فى أراضٍ غير مغمورة). وقد تُخفض استراتيجيات أخرى خاصة باستخدام المياه من انبعاثات الميثان من حقول إنتاج الأرز. وقد تُخفض أيضاً الأبحاث انبعاثات الميثان من الحيوانات الأليفة وبصفة خاصة المجترات. ويعكس الميثان المنبعث من هذه الحيوانات الفقد فى طاقة التغذية وهو عبارة عن عدم فعالية أو عدم كفاءة. على أن الجهود التى تبذل لزيادة كفاءة تغذية الحيوان أو لزيادة معدل زيادة وزنه سوف تُخفض كمية الميثان المنبعث.

وسوف تحتاج الجهود المباشرة لتخفيض انبعاثات الميثان إلى تركيز الضوء على نظم توزيع الغاز الطبيعى، وطرق إنتاج الوقود الحجرى، ومدافن المخلفات العضوية، والطرق المختلفة لتداول المخلفات. ولقد قُدِّرَ أن بعض نظم توزيع الغاز الطبيعى تفقد أكثر من ٣٪ من الغاز من خلال التسرب. كما تطلق أيضاً عمليات استكشاف البترول وتعددين الفحم كميات كبيرة من الميثان، تماماً كما تفعل مدافن المخلفات وبعض نظم تداول المخلفات العضوية. وفى أى من هذه الأمثلة، يوجد فقد للميثان يمكن منعه، كما توجد طرق لأسره أو الاحتفاظ به، وهذه الطرق سوف تكون مفيدة لمشكلة المناخ العالمى.

١٠ - ١ - ٣ أكسيد النتروز:

ينتج أكسيد النتروز فى الأراضى من خلال عمليات بيولوجية وأخرى غير بيولوجية، وتنتج جميع المسارات الميكروبية أكسيد النتروز (N_2O) بما فى ذلك عمليتى التآزت وعكس التآزت. وينطلق أكسيد النتروز من جميع الأراضى، بصرف النظر عن الحرث أو التسميد، بالرغم أن التسميد النتروجينى يزيد انبعاثات أكسيد النتروز بسبب الزيادة فى كمية المادة الصالحة لعمليتى التآزت وعكس التآزت. ويمكن تحفيز انبعاثات أكسيد النتروز من الأراضى بواسطة تغيير استخدام التربة، وبصفة خاصة تحويل الأراضى من أى زراعة أصلية إلى إنتاج زراعى. وكما نوقش سابقاً، تنخفض مستويات المادة العضوية فى التربة عندما تحرث الأراضى قبل الزراعة. ويفقد بعض نتروجين المادة العضوية فى صورة أكسيد نتروز. وينتج أيضاً أكسيد النتروز عندما تتأكسد مركبات النتروجين المختزلة فى الوقود الحجرى أو مواد الكتلة الحيوية الأخرى خلال الاحتراق. وكنتيجة للزيادات فى الأنشطة المذكورة عالياً، فإن تركيز أكسيد النتروز فى الجو قد ازداد مقارنة بأزمة ما قبل الصناعة.

ويعتبر أكسيد النتروز غاز صوبة أكثر فعالية من ثانى أكسيد الكربون أو الميثان، بالرغم من مشاركته فقط بمقدار ٥٪ فى تأثير الصوبة الراجع للإنسان. وإن وسائل تخفيض انبعاثات ثانى أكسيد الكربون - مثل تقليل استخدام الوقود الحجرى والمحافظة على المادة العضوية فى التربة (وقد نوقشت بالفعل سابقاً) - سوف تقلل أيضاً انبعاثات أكسيد النتروز؛ حيث أن النتروجين مكوّن تكاملى للوقود الحجرى، والكتلة الحيوية، والكربون العضوى فى التربة.

وينبغى أن تركز الجهود المباشرة من أجل تخفيض انبعاثات أكسيد النتروز على استخدام السماد النتروجينى. وبعد انبعاث أكسيد النتروز الناتج من السماد عملية معقدة يمكن أن تتأثر بعوامل مثل: نوع السماد، ومعدل النتروجين، وطريقة الإضافة، والحرث، ورطوبة التربة، ودرجة الحرارة، ومحتوى التربة فى الكربون العضوى، والنشاط الميكروبي. وعموماً، فإن تخفيض انبعاثات أكسيد النتروز الناتج من السماد سوف يتطلب الزيادة فى كفاءة استخدام النتروجين، وهذا سوف يحدث إلى درجة ما مع مستويات ثانى أكسيد الكربون الجوى المرتفعة.

ولقد نوقشت فى الفصل الرابع طرق زيادة كفاءة استخدام النتروجين وحاليا، تقدر انبعاثات أكسيد النتروز الناتج من السماد بحوالى ٥ ٪ من انبعاثات أكسيد النتروز العالمية، بافتراض أن حوالى ١٪ تقريبا من النتروجين السمدى يفقد فى صورة أكسيد نتروز. ومن المتوقع أن تزداد انبعاثات أكسيد النتروز الناتج من السماد على مستوى العالم حيث أن استخدام السماد النتروجينى يزداد باستمرار، وبصفة خاصة فى الأقطار التى تتميز بكثافة سكانية عالية وزيادة الطلب على الغذاء.

١٠ - ١ - ٤ شكوك وتعقيدات:

وفيما يتعلق بالموضوع العام لتغير المناخ فإن مانجهله يفوق بكثير مانعلمه. إبتداءً بالمناخ نفسه، من المقبول والمتفق عليه بصفة عامة أن المناخ سوف يتغير بالرغم أن طبيعة التغيرات غير قابلة للتنبؤ بها بدرجة كبيرة. ولعلّ أحد أسباب الشك هو العدد الكبير من آليات التغذية الاسترجاعية للمعلومات. وذلك يعنى أن التغير فى آلية واحدة سوف يُعجل حدوث تغيرات إضافية فى الآليات الأخرى لدرجة أن محصلة التأثير للتغير الأول يصبح صعبا فى التنبؤ به. ولقد ذكر سابقاً مثال بسيط لذلك؛ فنحن نعرف عن غازات الصوبة أنها نشطة إشعاعياً وتدفعى الجو، ولكن لا يمكن القول بدرجة يقينية أن الزيادات المستمرة فى تركيزات هذه الغازات سوف تسبب زيادة متناسبة مستمرة فى التدفئة. ومن المفيد أن تُناقش هذه التغذية الاسترجاعية ؛ لأنها تؤثر فى بعض الأفعال المقترحة للاستجابة لتغير المناخ العالمى. وهى تساعد أيضا فى تقدير قيمة وأهمية تعقيد مشكلة التدفئة العالمية. وينبغى أن نضع فى الاعتبار أن التغذية الاسترجاعية يمكن أن تكون موجبة وسالبة معاً، وسوف نقدم أمثلة عديدة لتوضح هذا التعقيد.

وبدون شك سوف يلعب بخار الماء دوراً فى تغيرات المناخ المحتملة؛ فكلما يذفأ المناخ سيكون هناك تبخير أكثر بسبب توفير حرارة محسوسة أكثر وهواء أكثر سخونة يستطيع أن يحمل ماء أكثر من الهواء الأبرد. وقد يُنتج التركيز الأعلى من بخار الماء

فى الجو غطاء من السحب أكثر. وإذا حدث هذا الغطاء من السحب بصورة متكررة فى شكل طبقة متكسرة (من النوع المتراكم)، فإن بخار الماء الإضافى سوف يمتص، على الأرجح، الحرارة ويساهم فى التدفئة. وسوف يقوم أيضا بخار الماء الإضافى بزيادة تركيز الهيدروكسيل فى الجو. ويمكن لمجموعات الهيدروكسيد هذه أن تتفاعل مع كل من الميثان والأوزون، وتقلل تركيزاتهما وتعمل بذلك كتغذية استرجاعية موجبة بالنسبة لتدفئة الغلاف الجوى.

وسىكون لزيادة درجة الحرارة تأثيرات مضاعفة، وسوف تشجع الأراضى الأدفأ تأكسد الكربون، وقد تقل الكمية الكلية للكربون المخزونة فى الأراضى، كما ينتظر زيادة لاحقة لتركيزات ثانى أكسيد الكربون الجوى. وقد تسمح أيضا درجات حرارة الهواء الأدفأ بامتداد مناطق غابات جديدة فى اتجاه الشمال. ويمكن أن يكون هذا له تأثير إيجابى على تركيزات ثانى أكسيد الكربون فى الهواء الجوى، بشرط أن عملية إنشاء غابات جديدة لا يصحبها إزالة كميات مكافئة من الغابات فى أى مكان. وتؤدى المحيطات الأدفأ إلى زيادة أكبر فى تعداد النباتات المغمورة فى الماء، التى تمتص ثانى أكسيد الكربون؛ ولكن المياه الأدفأ تحتفظ بنفسها بكمية أقل من ثانى أكسيد الكربون. كما تقلل تدفئة المحيطات الزيادة فى درجة حرارة الهواء الجوى.

ولعل هناك جانباً واحداً لتغير المناخ العالمى لم يذكر فى الغالب ألا وهو قابلية التكيف المحتملة للسكان مع التغيرات المناخية. وأحيانا تُذكر هذه التغيرات فى سياق الحديث عن الكوارث، مثل الأراضى المنتجة التى تحولت فجأة إلى حالة شبيهة بالصحراء، وسوف تحدث التغيرات المناخية ببطء وتدرجياً بدرجة أكبر، وينبغى أن يتكيف السكان وممارسات إنتاج الغذاء مع هذه التغيرات المناخية. وقد يتطلب الأمر نمو محاصيل الحبوب عند خطوط عرض أعلى فى نصف الكرة الشمالى، ويمكن أن تصبح كندا والمناطق الشمالية من الاتحاد السوفيتى السابق والصين مناطق إنتاج حبوب بدرجة أكثر أهمية مما هى عليه اليوم. وقد يحدث التغير فى الإنتاج تدريجياً خلال عدة سنوات أو حتى عدة عقود. وبالإضافة إلى ذلك، فإن تربية المحاصيل والتقنية الحيوية قد تنتج محاصيل أكثر مقاومة للحرارة والجفاف. وليس المقصود من هذه النقاط التى ذكرت سابقاً أن نقلل من قيمة المسائل الاقتصادية والاجتماعية المهمة المصاحبة لتغير الزراعة، ولكن بدلاً من ذلك نريد أن نوضح أن التكيف ممكن.

وبما أنه في وقتنا الحاضر لا يمكن التنبؤ بمحصلة تأثيرات الزيادة في تركيزات غازات الصوبة في الغلاف الجوي؛ فذلك لا يمكن التنبؤ أيضاً بمحصلة تأثيرات أى أفعال يؤخذ بها لتقليل انبعاثات أى من هذه الغازات فى الغلاف الجوى. وقد يتفق معظم الخبراء على أن هناك تغيرات مناخية معنوية قد تم فعلا تحفيزها قبل الآن، بالرغم أننا مع ذلك لانزال لم نعرف ماهى هذه التغيرات؟. وهذا موضح فى جدول ١٠ - ١. فمن المؤكد تماماً أن المناخ ككل أصبح دافئاً أو فى طريقه لأن يكون دافئاً، وأن محصلة التأثيرات الناتجة، على الأرجح، سوف لا تكون مبشرة. وبناء على ذلك، فإن أى جهود حقيقة تعمل لتخفيض انبعاثات غازات الصوبة قد تبدو أنها جديرة بالاهتمام بالرغم أنها أمور مجهولة أو مشكوك فيها.

١٠ - ٢ الترسيب الحامضى:

لعل أحد أهم مظاهر تلوث الهواء الجوى المعروف، والمثير للجدل والخلاف أيضاً هو موضوع المطر الحامضى، ويستحضر هذا المصطلح صوراً مخيفة للتلوث الصناعى لمياه الأمطار الساقطة على الأرض، والذي يسبب دماراً بيئياً خطيراً وربما غير عكسى. ومن الناحية الفنية، فإن مصطلح الترسيب الحامضى - الذى يشمل ليس فقط الأمطار الساقطة، بل يشمل أيضاً الضباب الحامضى، والندى، والجليد الذائب، والغازات، والمواد العالقة الجافة - يُعد مصطلحاً أكثر تعبيراً وأكثر دقة للمشكلة. ويعتبر المنشأ الأساسى للترسيب الحامضى هو انبعاث أكاسيد الكبريت (SO_2) وأكاسيد النتروجين (NO_x) عندما يحترق الوقود الحجرى لغرض إنتاج الطاقة. وتشمل المصادر النموذجية لهذه الملوثات المحمولة فى الهواء وحدات توليد القوى الكهربائية من احتراق الفحم والبتروى، والسيارات والمركبات الأخرى، والعمليات الصناعية الكبيرة (مثل: المسابك) (شكل ١٠ - ٦). وبمجرد أن تدخل هذه الغازات الغلاف الجوى للكرة الأرضية، فإنها تتفاعل بسرعة فائقة مع الرطوبة فى الهواء لتكوّن حامض كبرتيك (H_2SO_4) وحامض نيتريك (HNO_3). ويكون رقم حموضة المطر الطبيعى الساقط والذي فى حالة اتزان مع ثانى أكسيد الكربون الجوى حوالى ٥.٦، ومع ذلك، وكما هو موضح فى شكل ١٠ - ٧ بالنسبة للولايات المتحدة، فإن رقم حموضة المطر الساقط

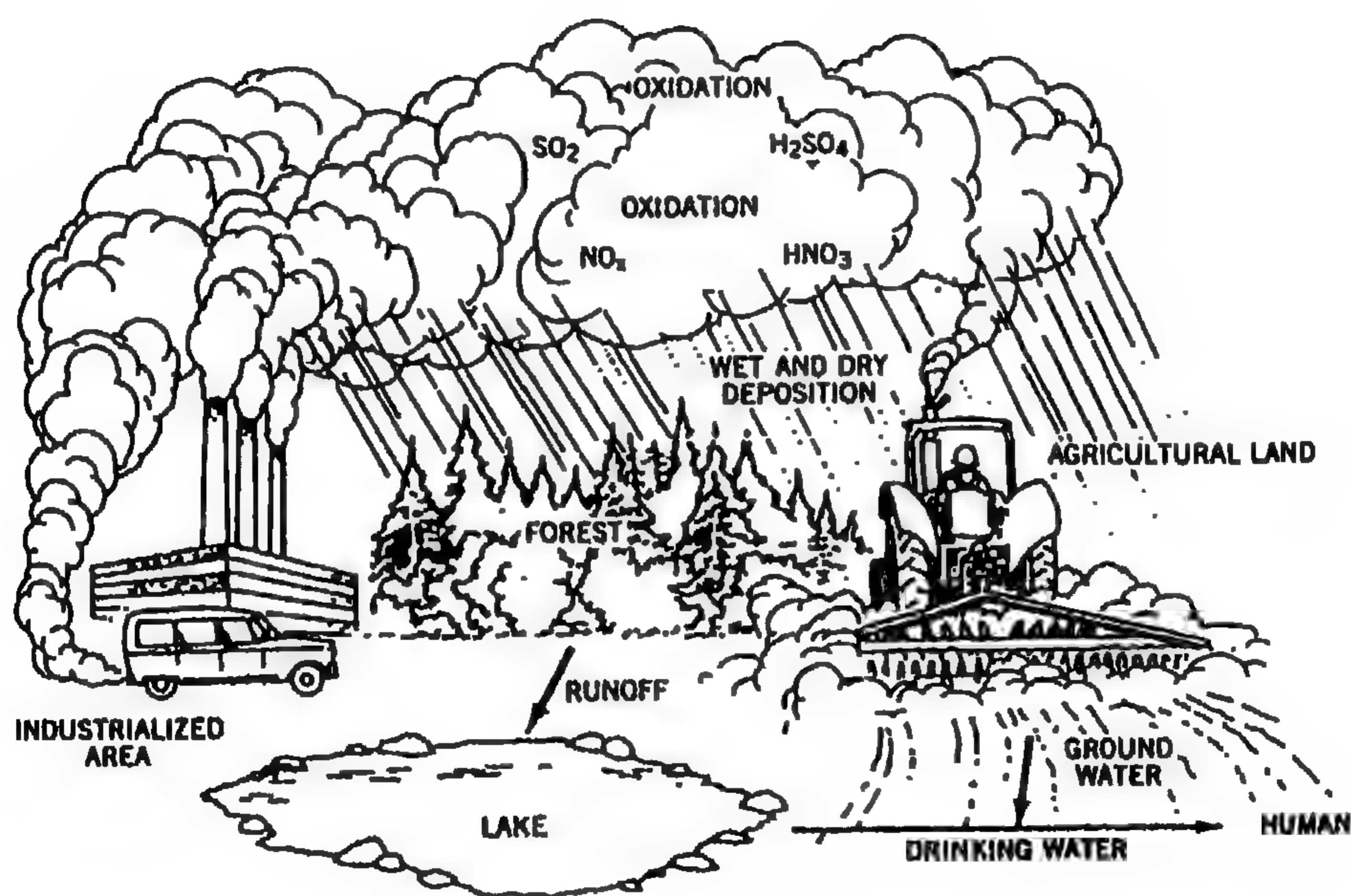
يكون أقل من ٥رء فى كثير من المناطق الصناعية فى العالم. وعندما ترسب هذه الأحماض بعدئذ فى البحيرات، والجداول، والغابات، والنظم البيئية الطبيعية الأخرى، إما عن طريق الترسيب الرطب أو الترسيب الجاف، يحدث عسدد من التأثيرات البيئية المعاكسة. ولعل أكثرها خطورة هو التدمير المباشر للكساء الخضرى (وبصفة خاصة الغابات)، والتغيرات فى كيمياء التربة وكيمياء المياه السطحية، والتي يمكن أن تؤثر بطريقة عكسية على النباتات والحيوانات.

ولقد ازدادت انبعاثات ثانى أكسيد الكبريت (SO_2)، وأكاسيد النتروجين (NO_x) بدرجة واضحة فى القرن العشرين (جدول ١٠ - ٤)؛ ومع ذلك ، فكما ذكر سابقاً بالنسبة للملوثات الجوية الأخرى ، توجد درجة كبيرة من الشك أو عدم اليقين بالنسبة للوسائل الفعلية التى عن طريقها يؤثر الترسيب الحامضى فى بيئتنا. وعلى سبيل المثال ، لنقتبس ونستشهد بتقرير المجلس القومى للبحوث عام ١٩٨٦ « إن الشك فى المعطيات يجعل من الصعب الوصول إلى استنتاجات بخصوص اتجاهات الحموضة والقاعدية فى بحيرات Adirondack خلال الخمسين عاماً الماضية . وتوضح الأدلة الكيميائية والبيولوجية أن الترسيب الحامضى للكبريتات سبب النقصان فى القاعدية فى بعض هذه البحيرات » ، وبالاقتباس من نفس التقرير، بالنسبة للغابات فى شرق الولايات المتحدة، « لا تسمح المعطيات الحالية بعمل تقويم كاف لدور الترسيب الحامضى والعوامل الأخرى فى هذه الظاهرة». وتعكس هذه المقتبسات نسبياً المعارضة العامة لكثير من العلماء للتعميم الزائد والمبالغ فيه لأسباب ونتائج العلاقات فى مشكلة بيئية بالغة التعقيد. والسبب الرئيسى لعدم الصدق هذا هو الحقيقة بأن التغيرات الأخرى فى كيمياء الغلاف الجوى والتغير فى المناخ العالمى تتوازى مع الزيادة فى الترسيب الحامضى.

ومع ذلك، فإن معظم الدول الصناعية توصلت إلى أن هذه القضية تعد غاية فى الخطورة وتستحق المتابعة، وإن تصل إلى حل نهائى لجميع القضايا العلمية المتعلقة بها، وهى عملية يمكن أن تستغرق عقوداً من السنين. فعلى سبيل المثال، بحلول عام ١٩٨٨، وقَّعت ٢١ دولة أوروبية اتفاقية «تلوث الهواء عبر الحدود طويل الأجل»، والتي كانت تهدف إلى تخفيض انبعاثات ثانى أكسيد الكبريت بحوالى ٣٠٪ ابتداءً من ١٩٨٠ حتى حلول عام ١٩٩٣. وبكل تأكيد، يُعتبر التقدم بطيئاً بسبب النقص فى مصادر

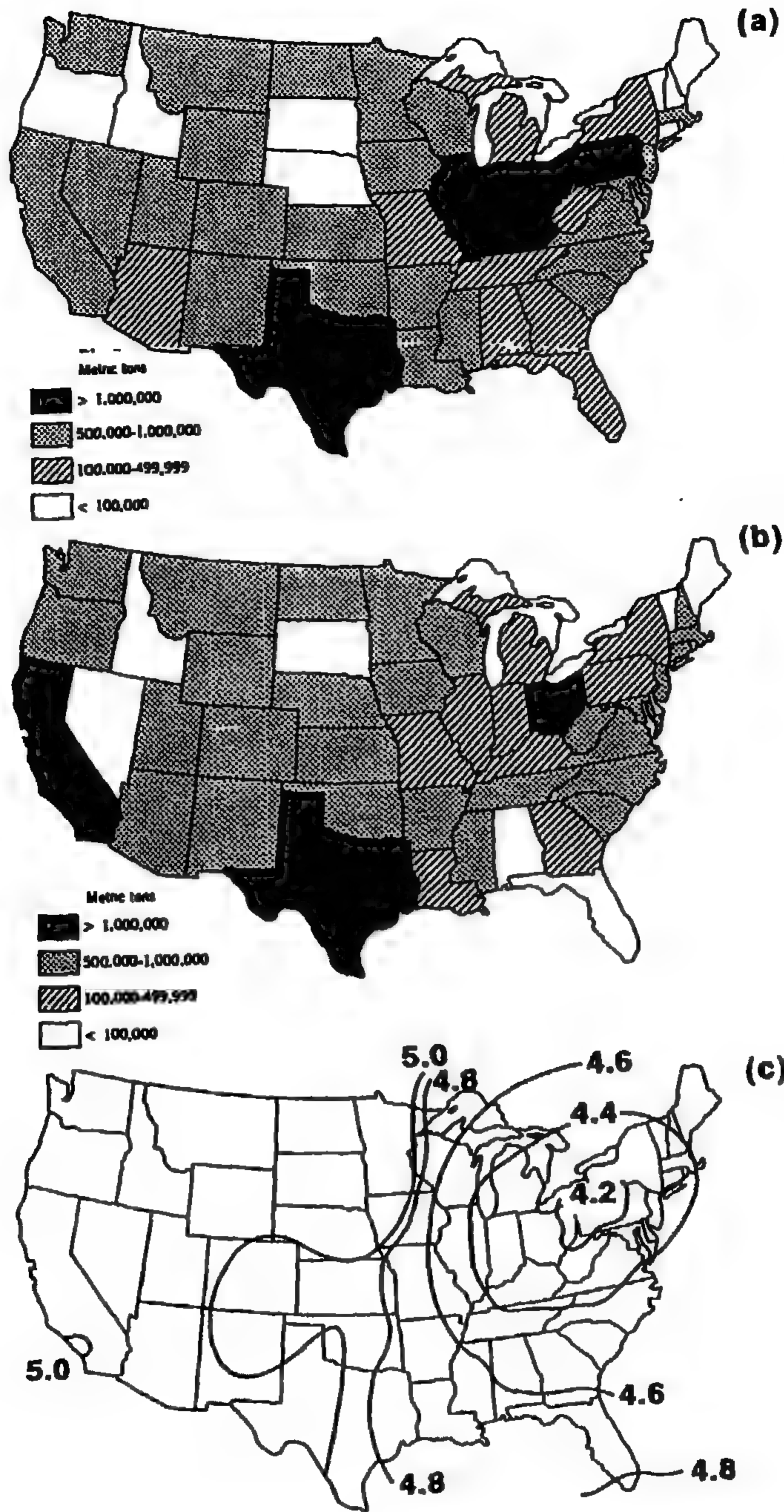
الطاقة البديلة لتلك التي تنتج ثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين ، وكذلك عدم توفر بلايين الدولارات اللازمة لتخفيض انبعاثات هذه الغازات من المصادر الحالية. ولسوء الحظ - وكما هو الحال مع كثير من القضايا البيئية الأخرى - تُعدُّ الحلول لمشكلة الترسيب الحامضي معقدة ومرتفعة التكلفة، كما تأخذ وقتاً طويلاً بطبيعتها.

وسوف نتحدث - فى هذا القسم - عن مصادر الترسيب الحامضي والتوزيع الجغرافى له، وسوف نصف أنواع المشاكل الأكثر انتشاراً، والتي يمكن أن تنتج، وسوف نعطي رؤية زائدة عن بعض جهود العلاج المستخدمة حالياً لى تعكس تأثيرات التحيض.



شكل ١- ٦: إنتاج وتوزيع الترسيب الحامضي.

(EPA, 1980.)



شكل ١٠ - ٧ التوزيع الجغرافي (a) لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت، (b) وانبعاثات أكاسيد النيتروجين، (c) والترسيب الحامضي في الولايات المتحدة.
(EPA, 1988, Council on Environmental Quality, 1989, and World Resources Institute, 1988.)

جدول ١٠ - ٤ الاتجاهات التاريخية لانبعاثات أكاسيد الكبريت والنتروجين.

المنطقة	١٩٠٠	١٩٢٥	١٩٥٠	١٩٧٠	١٩٨٥
انبعاثات أكاسيد الكبريت (مليون ميغاجم / سنة)					
الولايات المتحدة:					
شمال شرق	١ر١	٣ر٥	٢ر -	٢ر٦	١ر٦
جنوب شرق	٠ر٦	١ر٤	١ر٦	٣ر٢	٢ر٨
وسط الغرب الصناعية	١ر٨	٣ر٩	٣ر٥	٤ر٨	٣ر٦
وسط الغرب العليا	٠ر٤	٠ر٩	٠ر٧	٠ر٩	٠ر٥
شمال شرق كندا	٠ر٢	٠ر٩	١ر٨	٣ر٢	١ر٧
المملكة المتحدة	١ر٤	-	٢ر٣	٣ر١	١ر٨
انبعاثات أكاسيد النتروجين (مليون ميغاجم / سنة)					
الولايات المتحدة:					
شمال شرق	٠ر١	٠ر٩	١ر٩	٣ر٩	٣ر٥
جنوب شرق	٠ر١	٠ر٤	١ر٦	٥ر٦	٦ر٤
المملكة المتحدة	---	---	٠ر٢	٠ر٧	٠ر٧

(Charles , 1991 and Mason , 1992.)

١٠ - ٢ - ١ مصادر وتوزيع الترسيب الحامضى :

تعتمد طبيعة الترسيب الحامضى (أى النسب المئوية النسبية لحامض الكبريتك وحامض النتريك الموجود) بدرجة كبيرة على التوزيع الجغرافى لمصادر ثانى أكسيد الكبريت، وأكاسيد النتروجين. وفى الولايات المتحدة، يُعدّ حامض الكبريتك هو المصدر الرئيسى للحموضة فى الترسيب فى ولايات وسط غرب البلاد وشمال شرقها ، وذلك بسبب أن مؤسسات توليد الكهرباء من حرق الفحم فى هذه الولايات، وفى كندا تُطلق كميات كبيرة من ثانى أكسيد الكبريت. وفى الولايات الغربية، فإن مؤسسات الكهرباء والصناعة تحرق فحما يحتوى كبريت بنسبة أقل، بينما يكون حامض النتريك له شأن أكبر، ومقلقا بدرجة أكبر، خصوصا فى المناطق المكتظة بالسكان مثل كاليفورنيا؛ حيث تعتبر فيها السيارات والمركبات الأخرى التى تحرق الجازولين المصادر الرئيسة لأكاسيد النتروجين ، ويوضح شكل ١٠ - ٧ الطبيعة الجغرافية لانبعاثات ثانى أكسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين وحموضة الترسيب فى الولايات المتحدة.

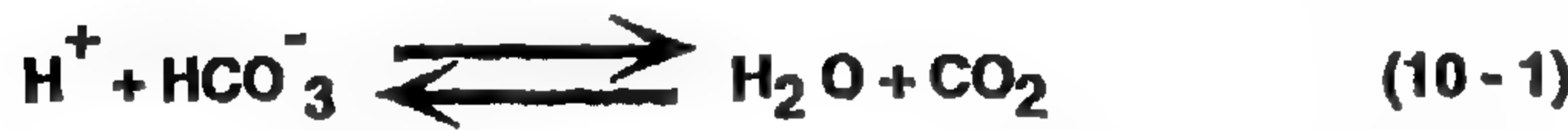
تعبّر قضية الترسيب الحامضى الولاية والحدود الوطنية ؛ لأنه بالرغم أن المركبات الحامضية يمكنها أن تترسب عند مسافات قصيرة من مصدر توليدها، إلا أنه يمكنها أيضا أن تنتقل مئات الأميال قبل أن تعود إلى الأرض فى هيئة مطر ساقط أو أشكال أخرى. ولقد قُدر، على سبيل المثال، أن ٣٠ - ٤٠٪ من الكبريت المترسب فى الشمال الشرقى للولايات المتحدة نشأ فى ولايات وسط الغرب الصناعية. وعلى المستوى الدولى، ناقشت الولايات المتحدة وكندا مصادر الترسيب الحامضى واقتصاديات عكس التحميض فى المناطق الشرقية لأمريكا الشمالية. ولا تزال كل من الولايات المتحدة وكندا تطوران استراتيجيات شاملة لمواجهة المشكلة. وبالمثل، فى أوروبا، فإن المساحة الصغيرة لكثير من الدول الأوربية تعنى أن الانبعاثات فى منطقة صناعية واحدة فى دولة ما يمكن أن تؤثر بسرعة وبسهولة على الغابات والبحيرات فى دولة أخرى. ولقد قدرت دراسة حديثة أن ١٧٪ من الترسيب الحامضى الساقط على النرويج ينشأ فى بريطانيا ، وأن ٢٠٪ فى السويد يأتى من أوروبا الشرقية. وقد تعنى التغيرات السياسية الحديثة وعدم الاستقرار الاقتصادى الحالى فى دول أوروبا الشرقية تأخيراً كبيراً فى تنفيذ الاتفاقيات الدولية التى تهدف إلى تخفيض انبعاث المركبات الحامضية؛

حيث تستخدم هذه الدول الفحم في توليد الطاقة الكهربائية، وهو يحتوى على كبريت بنسبة عالية.

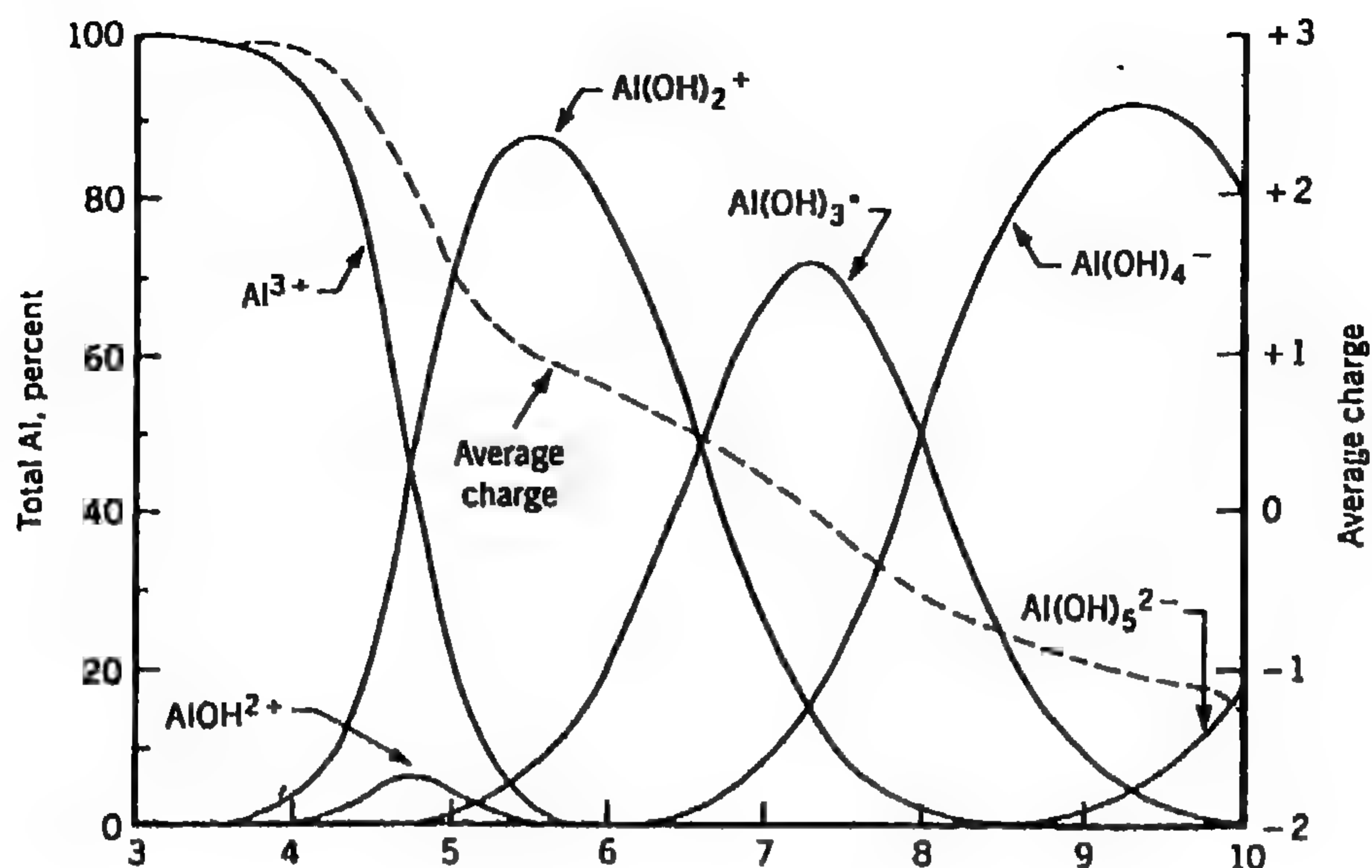
١٠ - ٢ - ٢ التأثيرات البيئية للترسيب الحامضى:

يمكن أن يكون للترسيب الحامضى نتائج بيئية كثيرة. وقبل أن نناقش الآليات المتضمنة وبعض الأساليب التى تعكس نتائج التحميض، فإنه من المهم أن نستعرض أولا باختصار طبيعة الحموضة فى التربة والبيئات المائية. وباستخدام أبسط المصطلحات نقول: إن الأحماض هى المواد التى تميل إلى أن تمنح بروتونات (أيونات هيدروجين) لمادة أخرى فى تفاعل كيميائى. وتنقسم الأحماض غالبا إلى أحماض قوية أو أحماض ضعيفة، تميل الأحماض القوية إلى الانقسام الكامل (تفقد بروتونات) فى الماء، بينما يحدث للأحماض الضعيفة انقسام جزئى فقط. وبالإضافة إلى حامضى الكبريتيك والنيتريك، هناك أحماض قوية أخرى شائعة وهى أحماض الهيدروكلوريك (HCl) والفوسفوريك (H_3PO_4)؛ وتشمل الأحماض الضعيفة أحماض الكربونيك (H_2CO_3)، الخليك (CH_3COOH)، والبوريك (H_3BO_3) (لاحظ أن حمضى الكبريتيك والنيتريك فقط هما المكونان المهمان للترسيب الحامضى). ويستخدم مصطلح رقم الحموضة pH ليوضح الحموضة النسبية للمحلول (أوالتربة) ، ويعرف بأنه اللوغاريتم السالب لنشاط أيونات الهيدروجين $[pH = -\log(H^+)]$ ، ومن هنا، فكلما ازداد تركيز أيونات الهيدروجين فى المحلول، انخفض رقم الحموضة pH. ورقم الحموضة للماء النقى = 7.0، وتبلغ قيمته لماء المطر الساقط الطبيعى ٥.٦، وفى الترسيب الحامضى الشديد يكون pH أقل من ٤.٠. وتتراوح قيمة رقم الحموضة لمعظم الأراضى من ٢.٠ إلى ٨.٠ ؛ وبالنسبة لمعظم نظم الإنتاج النباتى، فإن رقم الحموضة الموصى به يتراوح من ٦.٠ إلى ٧.٠. وعندما تضاف الأحماض إلى الأراضى أو المياه، يحدث نقص فى رقم الحموضة يعتمد بدرجة كبيرة على مقدرة النظام على الفعل التنظيمى «التخفيفى». ويشير الفعل التنظيمى «التخفيفى» إلى قدرة النظام على المحافظة على رقم حموضته

الحالى أى مقاومة التغير فى رقم حموضته عن طريق معادلة الحموضة المضافة. ويعتبر الطين، والمادة العضوية، وأكاسيد الحديد والألومنيوم، وكربونات الكالسيوم والمغنسيوم (الحجر الجيري) هى المكونات المسئولة عن تنظيم رقم الحموضة فى معظم الأراضى. وبناءً على ذلك، سوف يكون الترسيب الحامضى تأثير على الأراضى الرملية المنخفضة فى المادة العضوية أكبر من الأراضى الأعلى فى الطين، والمادة العضوية، والكربونات. وفى المياه العذبة، فإن آلية «التخفيف» الرئيسية هى تفاعل أيونات البيكربونات الذائبة مع أيونات الهيدروجين كما يلى:



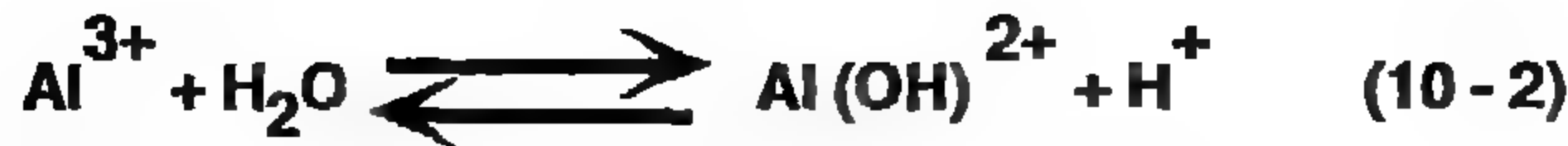
وفى كثير من النظم الطبيعية، لا يعزى فى الغالب التدمير الناتج من التحمض إلى وجود أيونات هيدروجين زيادة، ولكنه بدلا من ذلك يعزى إلى التغيرات فى العناصر الأخرى عندما يصبح النظام أكثر حموضة (أى عندما ينخفض رقم الحموضة). وتشمل الأمثلة لذلك زيادة نوبان أيونات المعادن التى تعتبر سامة للنباتات والحيوانات مثل الألومنيوم وبعض العناصر النادرة (مثل الرصاص)، كما تشمل الفقد السريع والكبير للكاتيونات القاعدية (مثل الكالسيوم والمغنسيوم)، وأيضاً خلق بيئات تربة غير مناسبة للكائنات الدقيقة المهمة فى بورات العناصر الكثيرة. وفى المواطن الحضرية أو الصناعية، فإن الزيادة فى الحموضة يمكن أن تذيب الكربونات (مثل الحجر الجيري، الرخام) فى المباني والبنىات الأخرى، وتآكل أو تلتف المعادن فى كثير من الأماكن، مؤدية إلى دمار اقتصادى وجمالى كبير. ولعل أحد الأمور الحضرية المهمة والمقلقة على المدى الطويل هو تأثير الترسيب الحامضى على نظم مياه البلديات التى تعتمد على المياه السطحية لتوفير مياه الشرب. وتستخدم كثير من البلديات مواسير من الرصاص والنحاس فى نظم توزيع المياه على نطاق واسع. ومن هنا، تثار التساؤلات حديثاً حول نتائج النوبان البطيء لبعض المعادن (الرصاص، النحاس، الزنك) من مواد المواسير الممدودة على صحة الإنسان؛ والتى سببها تعرض هذه المواسير إلى مياه أكثر حموضة.



شكل ١٠ - ٨ توزيع الصور الذائبة للألومنيوم كدالة لرقم الحموضة pH.
(Marion et al . , 1976.)

١٠ - ٢ - ٣ تأثير الترسيب الحامضي على الأراضي:

تصبح الأراضي حامضية عن طريق عدد من العمليات المختلفة. وفي المناطق الرطبة، تؤدي التجوية الطبيعية إلى تحمض الأراضي لأن الترسيب يتعدى أو يزيد عن التبخير - نتج. وكما ذكرنا سابقاً، يعدُّ ماء المطر «الطبيعي» حامضياً (له رقم حموضة حوالي ٥.٦) ويضيف باستمرار حامضاً ضعيفاً (H_2CO_3) إلى الأراضي. وينتج عن هذا التحمض غسيل الكاتيونات القاعدية (الكالسيوم، المغنسيوم) من أفاق التربة الأعلى، تاركاً الألومنيوم في صورة كاتيون متبادل سائد. ويكون الألومنيوم المتبادل متزناً مع الألومنيوم الذائب في المحلول الأرضي الذي يمكن أن يتفاعل مع الماء لينتج أيونات هيدروجين، وهكذا تصبح التربة حامضية، كما هو موضح في شكل ١٠ - ٨، وطبقاً للمعادلات التالية:



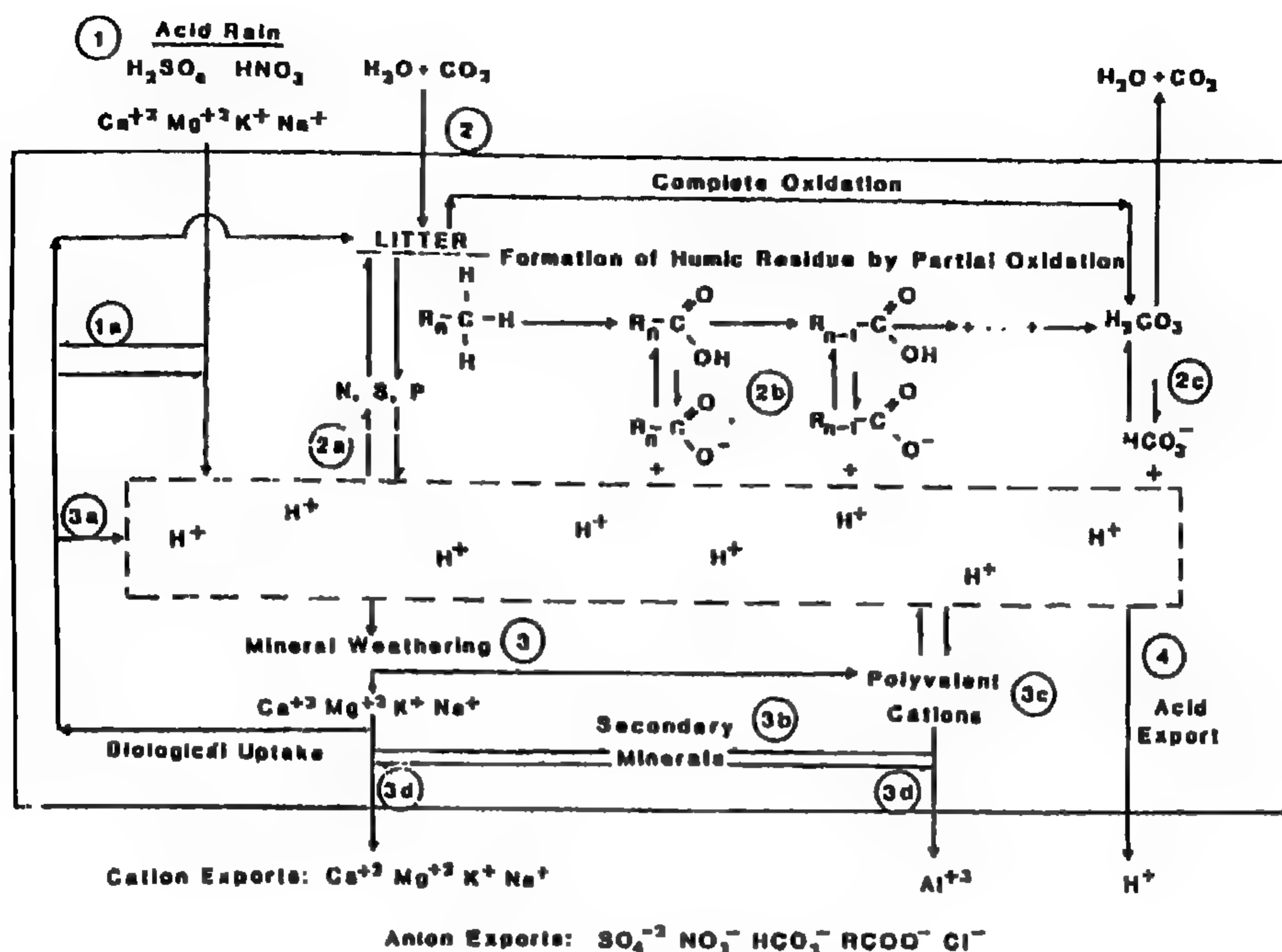
وتشمل العمليات الطبيعية الأخرى التي تسهم في تحميض التربة:

(١) معدنة وتآزت النتروجين العضوى (انظر الفصل الرابع)،

(٢) تنفس النباتات والميكروبات والذي ينتج عنه ثانى أكسيد الكربون، ومن ثم حمض كربونيك،

(٣) تأكسد كبريتيد الحديد FeS_2 فى الأراضى المفككة بواسطة عمليات التعدين أو الصرف. ومع ذلك، فإن كثيراً من الحموضة فى الأراضى بين رقمى حموضة ٤ ، ٥ و٧ ترجع إلى التحلل المائى للألومنيوم. وفى الأراضى شديدة الحموضة (رقم حموضة لها أقل من ٤)، فإن الأحماض القوية مثل حمض الكبريتيك هى المكون الرئيسى لحموضة التربة.

ويضيف الترسيب الحامضى أحماضاً قوية إلى الأراضى، وتحت ظروف معينة يمكن أن يؤدي هذا إلى غسيل الكاتيونات القاعدية وزيادة ذوبان الألومنيوم. ومع ذلك، فإن الكيمياء غير العضوية والعضوية لهذا النظام عالية التعقيد (شكل ١٠ - ٩)، وعلى الرغم من الجهد البحثى المكثف ستظل هناك خلافاً علمية كبيرة بخصوص الآليات النوعية المتضمنة والحالات التى سوف يكون فيها للترسيب الحامضى تأثير بيئى معنوى. ومن الناحية العملية، سوف يكون للترسيب الحامضى تأثير على أراضى الغابات أكبر من الأراضى الزراعية أو الأراضى الحضرية؛ لأنه فى الحالات الأخيرة نقوم، بصفة روتينية وبطريقة غير مكلفة، بإبطال تأثيرات جميع عمليات التحميض بواسطة عملية إضافة الجير. وبالرغم أنه من الممكن أن نضيف الجير إلى أراضى الغابات، إلا أن المنطق والتكاليف غالباً تجعل هذا مستحيلاً كممارسة إدارة روتينية فيما عدا فى المناطق الشديدة التأثر بالترسيب الحامضى، ويعتمد معدل ودرجة التحميض الزائد فوق الذى يسببه المطر الحامضى الطبيعى على كل من قدرة الأرض



شكل ١٠ - ٩ تأثير الترسيب الحامضي على الأراضي . (1 ، 1a) مدخلات المطر الحامضي
تضيف أيونات H^+ وأنيونات حامضية ، وكاتيونات قاعدية ؛ (2) العمليات الحيوية مثل المعدنة (2a)
الكربون ، النتروجين ، الكبريت ، الفوسفور تنتج أيونات هيدروجين ، ولكنها تكون أحماضاً
عضوية ضعيفة يمكنها أن تستهلك H^+ (2b) أوتؤدي في النهاية إلى فقد الماء وثاني أكسيد
الكربون من التربة بعد الأكسدة الكاملة (2c) ؛ (3) تجوية المعادن الأولية تنتج كاتيونات
للامتصاص بواسطة النبات (3a) ، معادن ثانوية (3b) ، وكاتيونات حامضية (3c) ، وكاتيونات
قاعدية (3d) ؛ (4) تصدير الشحنة الموجبة من الأراضي في هيئة كاتيونات قابلة للغسيل
(Na^+ ، K^+ ، Mg^{2+} ، Ca^{2+} ، Al^{3+} ، H^+) يجب أن يتزن كهربائياً عن طريق تصدير الأنيونات
(SO_4^{2-} ، NO_3^- ، Cl^- ، HCO_3^- ، أحماض عضوية).

التنظيمية واستغلال التربة. وتتعدد القضية بالحقيقة التي تعنى أن كثيرا من المناطق المعرضة لأكبر كمية من الترسيب الحامضى هي أيضا المناطق التي يحدث بها تجميع طبيعى كبير؛ فعلى سبيل المثال: أراضي الغابات في الشمال الشرقى للولايات المتحدة نشأت وتطورت من مادة أصل عالية الحموضة واجتازت أيضا تغيرات هائلة في استخدام الأرض في الـ ٢٠٠ سنة الماضية، وقد ساهم هذا في التجميع الطبيعى. والقطع الكلى لهذه الغابات أو حرقها بواسطة الأوروبيين الأوائل لى يستقروا في المنطقة تم تصحيحه تقريبا، وفي الوقت الحالى تم تحويل كثير من المناطق إلى غابات.

ويمثل الدبال الذى يتراكم في هذه الغابات مصدرا طبيعيا للحموضة، كما يقوم بتنظيم pH التربة، وهو ما يجب أن يكون متوازنا مع مصادر الحموضة الراجعة لنشاط الإنسان (مثل الترسيب الحامضى). وبالمثل فإن الغسيل الأكبر أو الاستنفاد الأكبر للكاتيونات القاعدية بواسطة امتصاص النبات في المناطق المعاد زراعتها غابات بدرجة كثيفة ينبغي أن يأخذ في الاعتبار المدخلات المهمة لنفس هذه العناصر من الترسيب. ولقد قامت أبحاث كثيرة بدراسة التغيرات في الخواص الكيميائية للأراضي بعد الترسيب الحامضى طويل المدى وكذلك بعد تغير نماذج استغلال الأراضي، وبالرغم أنها لا تدخل في نطاق هذا الفصل، فقد وضعنا لها مراجع عديدة ممتازة في جزء المراجع لهذا الفصل.

وتُعدّ الأراضي شديدة الحموضة غير مرغوبة لعدة أسباب؛ فيمكن أن تحدث الحموضة سمية مباشرة للنباتات من Al^{3+} أو Mn^{2+} الذائب وتضر جنور النبات بدرجة خطيرة، وتقلل نمو النبات، وتزيد حساسية النباتات للكائنات الممرضة. وتتعدد العلاقة بين سمية الألومنيوم ورقم حموضة التربة بالحقيقة التي تعنى أنه في حالات معينة يمكن للمادة العضوية أن تكون مركبات معقدة مع الألومنيوم، وهذا من شأنه أن يقلل تأثيراته الضارة على النباتات. وتُعتبر الأراضي الحامضية ذات خصوبة منخفضة في العادة، أو غير خصبة بالمرّة حيث ينقصها كاتيونات قاعدية مهمة مثل البوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنسيوم. وقد تقوم النباتات البقولية بتثبيت كميات نتروجين أقل تحت الظروف الحامضية الشديدة بسبب انخفاض نشاط البكتريا الجذرية وزيادة ادمصاص

الموليبدنم (فى صورة أنيون موليبدات (MoO_4^-)) بواسطة معادن الطين وأكاسيد الحديد والألومنيوم. ومعروف أن الموليبدنم مُكوّن رئيسى لإنزيم النتروجينيز؛ وهو إنزيم مهم فى عملية تثبيت النتروجين الجوى. ويمكن أيضا أن تتخفّض معدنة النتروجين، والفوسفور، والكبريت بسبب انخفاض النشاط البنائى للبكتريا عند أرقام الحموضة المنخفضة. ورغم ذلك، ينبغى ملاحظة أن كثيراً من النباتات والكائنات الدقيقة تتأقلم مع الظروف شديدة الحموضة أو تفضلها (مثل رقم حموضة أقل من ٥). وتشمل الأمثلة لذلك نباتات الزينة مثل جماعة أزاليا (صحراوية) وحنس روبرندرون (وردية) ونباتات الغذاء مثل نبات منيهوت (يستخرج من جذوره دقيق نشوى)، والشاي، وعنب الأجر (عنب الدب)، والبطاطس. وفى الحقيقة، هناك جهود كبيرة فى مجال تربية النباتات والتقنية الحيوية موجهة ناحية تطوير نباتات مقاومة للألومنيوم والمنجنيز، والتى يمكنها أن تحيا فى مناطق حيوية مثل المناطق الأستوائية؛ حيث تشيع الأراضى عالية الحموضة.

١٠ - ٢ - ٤ تأثير الترسيب الحامضى على الحياة النباتية:

يمكن القول إن أهم قضية مرئية شائعة الانتشار مرتبطة بالترسيب الحامضى هى تأثير الترسيب الحامضى على نمو نباتات الغابات. وقد لوحظ انتشار نقص الغابات بدرجة واسعة فى المناطق التى يحدث بها ترسيب حامضى كبير. ولقد قُدّر فى أوروبا أن أكثر من ٣٥٪ من جميع الغابات تأثرت بالترسيب الحامضى. وبالمثل، فى الولايات المتحدة، كما لوحظ بالخبرة وبالتجربة وجود نقص مستمر فى نمو الأشجار لبضعة عقود، كما ظهرت فيها أضرار مرئية خطيرة. وقد حدث هذا فى سلاسل كثيرة من الغابات المهمة مثل: الأديرو نذاك فى نيويورك، والجبال الخضراء فى فيرمونت، والجبال الضخمة الداخنة فى شمال كارولينا. ومع ذلك، كما لوحظ سابقاً، فإن الدليل الحاسم على نقص الغابات أو موتها بسبب الترسيب الحامضى فقط معدوم ومعقد بالكثير من التفاعلات بين التحميىض والعوامل البيئية الأخرى أو العوامل الحيوية التى تؤثر على نمو النبات. ونحن هنا نقدم ملخصاً وجيزاً لبعض الوسائل التى عن طريقها

يمكن للترسيب الحامضي أن يؤثر مباشرة على النباتات؛ أما التأثيرات غير المباشرة على نمو النباتات الراجعة إلى تحميض التربة فيمكن أن تكون أيضا معنوية ولقد تم تلخيصها في القسم ١٠ - ٢ - ٣.

وقد يدخل الترسيب الحامضي الرطب والجاف على الأوراق مباشرة عن طريق الثغور. وعندما يكون الترسيب حامضياً بدرجة كافية (رقم حموضة حوالى ٣)، يمكن أن يحدث أيضاً تلف للكيوتيكال الشمعى على سطح الأوراق، وهذا يزيد احتمال حدوث ضرر مباشر لخلايا الميزوفيل فى الأوراق المعرضة، وتعتبر تشققات الأوراق أحد أهم الأعراض الشائعة للنباتات المعرضة للترسيب الحامضي، ويمكن للمركبات الغازية مثل SO_3 , SO_2 الموجودة فى الندى أو الضباب أن تدخل الأوراق عن طريق الثغور، وتكون حامض كبرتيك بالتفاعل مع الماء فى سيتوبلازم خلايا الأوراق، وتعطل كثيراً من العمليات البنائية المتوقفة على رقم الحموضة، وأوضحت كثير من الدراسات موت الأوراق عندما تتعرض لمستويات عالية من غاز ثانى أكسيد الكبريت. وتعتبر الآلية الحقيقية التى بواسطتها يسبب تحميض خلايا الورقة ضرراً للأوراق غير معروفة، وبالطبع تختلف بين الأصناف المختلفة للنبات، وتشمل التغيرات الفسيولوجية المصاحبة للتعرض للترسيب الحامضي ما يلى:

(١) ضعف خلايا البشرة.

(٢) تآكل أو إزالة الكيوتيكال.

(٣) فقد تكامل الكلوروبلاست والنقص فى نسبة الكلوروفيل.

(٤) تقطع أو تفكك الألياف فى جذر الخلايا ونقص تكامل غشاء الخلية.

(٥) تغيرات فى الجهد الإسموزى تسبب نقصاً فى انتفاخ الخلية.

ولقد اهتمت بحوث كثيرة بالتأثيرات الثانوية على نمو النباتات المعرضة للترسيب الحامضي، وبصفة خاصة احتمال زيادة الأمراض أو الإصابة بالحشرات. وهناك افتراض عام وهو أن أى ضرر لسطح الورقة سوف يعزز قدرة الكائنات الممرضة على البقاء وكذلك دخولها فى النبات. وأوضحت الدراسات أن الأوراق المعرضة للترسيب الحامضي تصبح أكثر «قابلية للترطيب أو البلل» وهو شرط رئيسى

لتأسيس وتأهيل الكائنات الممرضة ، وتعتبر التشققات على سطوح الأوراق المتأثرة بالتحميض بمثابة فتحات تسمح بدخول الكائنات الممرضة للنبات، وينفس طريقة الجروح الطبيعية ، وهناك تأثيرات أخرى لترسيب الحامض على الأوراق؛ فقد تجعل أيضا هذه الأوراق عرضة للأمراض أو ميالة للإصابة بواسطة الحشرات، كما أن هناك عمليات تؤدي إلى ضعف مقاومة النباتات لأي نوع من الإجهاد مثل:

(١) غسيل العناصر الغذائية والمركبات العضوية.

(٢) تعطل عملية التمثيل الضوئي.

(٣) تعطل عملية بناء العناصر الغذائية.

وقد تزداد أيضا أمراض الجذور في الأراضي شديدة الحموضة. وبالإضافة إلى الدمار الذي يحدث للجذور من التعرض لحامض الكبريتيك والنتريك ؛ فالجذور يمكن أن يحدث لها ضرر مباشر أو يضعف معدل نموها بسبب زيادة تركيزات الألومنيوم والمنجنيز الذائبين في منطقة الجذور «الريزوسفير». وقد وجد أن إفرازات الجذور (مركبات عضوية تفرز من خلايا الجذور) تزداد عندما تتأثر عملية التمثيل البنائي للجزء الخضرى بالترسيب الحامضى على الأوراق والسيقان. والتغيرات في كمية وتركيب هذه الإفرازات يمكن بعدئذ أن تُغيّر نشاط وتنوع الكائنات الممرضة في التربة الحاملة لها. والاتجاه العام المصاحب لزيادة إفرازات الجذور هو تعزيز أو زيادة تعداد الميكروبات الراجع إلى توفير إضافي من الكربون (الطاقة). ويستطيع أيضا التحميض المزمّن أن يُغيّر درجة تيسر العناصر الغذائية ونماذج امتصاصها، وبالتالي يتأثر نمو الجزء الخضرى، ومن ثمّ المحصول.

١٠ - ٢ - ٥ تأثير الترسيب الحامضى على نظم البيئة المائية:

يعتبر فساد المياه العذبة من الترسيب الحامضى مشكلة خطيرة مُوثّقة جيدا وبصورة متزايدة على مستوى العالم، وكما هو الحال مع الغابات، تكمن أهمية الدليل العلمى فى أنه يقترح وجود عدد من العوامل ذات العلاقات المتبادلة المصاحبة للترسيب

الحامضى هي المسئولة عن كثير من التغييرات غير المرغوبة الحادثة فى نظم البيئة المائية. ومع ذلك، فتحمىض المياه العذبة ليس ظاهرة جديدة. وتقترح دراسات رواسب البحيرات أن التحمىض المتزايد بدأ فى أواسط ١٨٠٠، بالرغم أن العملية ازدادت بسرعة كبيرة منذ عام ١٩٤٠. والبحث العلمى المكثف على هذا الموضوع تم إنجازه منذ بداية عام ١٩٧٠، وأدى إلى مئات من الأبحاث الفنية وعشرات من الكتب الشاملة على هذا الموضوع (راجع قسم المراجع لهذا الفصل). ويعتبر الموضوع معقداً، وقد وجد أن حجم تأثير الترسيب الحامضى على المياه العذبة يختلف كثيراً بين المناطق الجغرافية، ويستعرض هذا الجزء العوامل الرئيسية التى تحكم درجة انتشار التحمىض للمياه العذبة، والتأثيرات البيئية الشائعة الانتشار، وبعض أساليب علاج المشكلة.

وتعتبر الجيولوجيا، وخواص الأراضى، واستغلال التربة هي العوامل المحددة الرئيسية لتأثير الترسيب الحامضى على كيمياء المياه والكائنات الحية، كما هو موضح فى جدول ١٠ - ٥ لاثنتين من مستجمعات الأمطار فى أوروبا، كما أن البحيرات والجداول الواقعة فى مناطق بها صخور جيرية (مثل الحجر الجيري) تقاوم التحمىض أكثر من تلك التى تسود فيها صخور الجرانيت والنيس. وتميل أيضاً الأراضى الناشئة من مواد أصل جيرية إلى أن تكون أكثر عمقا وأكثر تنظيماً (أى أكثر مقاومة) ضد التحمىض مقارنة بالأراضى الحامضية غير العميقة الشائعة فى المناطق الجرانيتية. وتؤثر أيضاً إدارة الأراضى فى حموضة المياه العذبة. وتميل مستجمعات الأمطار المحرّجة (أى المزروعة غابات) إلى أن تساهم بحموضة أكثر من تلك التى تسود فيها المروج، والمراعى، والمحاصيل الزراعية. وقد وجد أن الأشجار والنباتات الأخرى فى الغابات تحتفظ على أوراقها وسيقانها بالمركبات الحامضية الموجودة فى الضباب، والندى، والمواد العالقة فى الجو. وتصل هذه المركبات الحامضية فيما بعد إلى أراضى الغابات عندما يقوم المطر الساقط بإزاحتها من أسطح النباتات. وبذلك يكون فى الغالب المطر الساقط تحت ظلّة الغابة (الجزء الأعلى المتغصّن من الغابة) أكثر حموضة من الترسيب الجوى. ويمكن لعمليات التأجير (زراعة الغابات والعناية بها) التى تفكك الأراضى مثل الغرس، والتسميد، والصرف، وحصاد الأشجار أن تزيد درجة الحموضة عن طريق تنشيط أكسدة النتروجين العضوى، والكبريت العضوى، وكبريتيد الحديد.

وعلى العكس، يمكن أن تتم معادلة الحموضة في البحيرات والجداول عن طريق مياه الأمطار السارية والمياه الراشحة من مستجمعات الأمطار التي تسود فيها أراضي زراعية تم تحسينها بإضافة الجير. ومع ذلك، إذا سُمِّدَت الأراضي الزراعية بأسمدة النتروجين الأمونيومية ولم تُحسَّن بالجير بكفاءة، يمكنها أيضاً أن تساهم في تحميض المياه العذبة. فعلى سبيل المثال، مطلوب ٢٦٠ كجم جير للهكتار (في صورة كربونات كالسيوم) لمعادلة الحموضة الناتجة من ١٠٠ كجم نتروجين للهكتار في صورة يوريا، ويلزم فقط ٥٠ كجم للهكتار لمعادلة حموضة ١٠٠ سم من المطر لها رقم حموضة ٤. ويمكن أن تؤثر عوامل أخرى في تحميض المياه العذبة، وتشمل هذه العوامل شدة أو كثافة المطر الساقط وطول مدة سقوطه، والطبوغرافيا، والهيدروجيولوجيا، وجميعها تعمل لتحديد اتجاه ومعدل انسياب المياه (ومعها المركبات الحامضية) خلال الأراضي ومادة الأصل إلى المياه العذبة.

ويظهر عدد من المشاكل البيئية عندما يحدث تحميض للمياه العذبة ويصبح لها رقم حموضة أقل من ٥.٠، وبصفة خاصة أقل من ٤.٠. ويشيع حدوث نقص في التنوع البيولوجي (عدد الأصناف المختلفة الموجودة) والإنتاجية الأساسية (الأعداد الفعلية والكتلة الحيوية) للعوالق النباتية (نباتات مغمورة أو معلقة في الماء) والعوالق الحيوانية، واللافقاريات القاعية. وبين الحين والآخر يُذكر نقص في معدل التحلل البيولوجي للمادة العضوية، والذي يمكن أن يؤدي، فوق ذلك، إلى نقص في إمداد العناصر الغذائية بسبب تباطؤ عملية المعالجة. وقد تتغير أيضاً الجماعات الميكروبية، وتسود الطحالب على البكتيريا. وتتمركز الآليات المفترضة لشرح هذه التغيرات البيئية حول الجهود أو الضغوط الفسيولوجية التي تنتج من تعرض الكائنات الحية لتركيزات أعلى للألومنيوم والمنجنيز، والهيدروجين، وكميات أقل للكالسيوم الميسر. وهناك آلية واحدة محددة مقترحة تشمل تعطيل امتصاص الأيون، وتفتيت قدرة النباتات على تنظيم تصدير واستيراد الصوديوم، والبوتاسيوم، والكالسيوم من الخلايا.

ويمكن أن يؤثر أيضاً الترسيب الحامضي على الأسماك، والبرمائيات، والثدييات. ويوجد دليل واسع الانتشار لذلك وهو هبوط تعداد الأسماك في البحيرات التي حدث لها تحميض، وموت الأسماك تحت ظروف شديدة الحموضة. وبصفة عامة،

جدول ١٠ - ٥ الخواص الكيميائية للمياه في كل من الترسيب الجوى، المطر الساقط تحت ظلة الغابة ، الغسيل ، الجداول لاثتين من مستجمعات الأمطار في أوروبا.

Al (ميكروجم / لتر)		SO ₄ ²⁺ الكلية	Ca ²⁺	H ⁺	pH	وصف المستجمع																																																	
الذائب	الكلية																																																						
<p>مستجمع Loch Chon في اسكتلندا</p> <p>يتعرض لترسيب حامضى شديد ؛ يتم معادلة مياه الأمطار جزئيا بواسطة الكساء الخضرى وقطاع الأراضي ؛ يتأثر الراشح بشدة بواسطة جيولوجيا الموقع الغنية بالكالسيوم ؛ مياه الجداول مناسبة للأسماك.</p> <p>ملليمكافى / م٢ / سنة</p> <p>المداخلات:</p> <table> <tr> <td>—</td><td>—</td><td>١٣٢</td><td>—</td><td>٤٨</td><td>—</td><td>فوق ظلة الغابة.</td></tr> <tr> <td>—</td><td>—</td><td>١٣٨</td><td>—</td><td>٢٤</td><td>—</td><td>تحت ظلة الغابة.</td></tr> </table> <p>ملليمكافى / م٢ / سنة</p> <p>التركيز في مياه:</p> <table> <tr> <td>—</td><td>—</td><td>٥٣</td><td>١١</td><td>٢٩</td><td>٤ر٥</td><td>الترسيب الجوى.</td></tr> <tr> <td>—</td><td>—</td><td>٩٢</td><td>٥٠</td><td>١٥</td><td>٤ر٨</td><td>تحت ظلة الغابة.</td></tr> <tr> <td>—</td><td>—</td><td>١٢٢</td><td>—</td><td>٦٨</td><td>٤ر٢</td><td>الراشح من أفق O.</td></tr> <tr> <td>—</td><td>—</td><td>٨٩</td><td>—</td><td>٣٧</td><td>٤ر٤</td><td>الراشح من أفق BC.</td></tr> <tr> <td>٤٧</td><td>١٢٩</td><td>٩٣</td><td>٧٢</td><td>٨</td><td>٥ر١</td><td>الجداول.</td></tr> </table>							—	—	١٣٢	—	٤٨	—	فوق ظلة الغابة.	—	—	١٣٨	—	٢٤	—	تحت ظلة الغابة.	—	—	٥٣	١١	٢٩	٤ر٥	الترسيب الجوى.	—	—	٩٢	٥٠	١٥	٤ر٨	تحت ظلة الغابة.	—	—	١٢٢	—	٦٨	٤ر٢	الراشح من أفق O.	—	—	٨٩	—	٣٧	٤ر٤	الراشح من أفق BC.	٤٧	١٢٩	٩٣	٧٢	٨	٥ر١	الجداول.
—	—	١٣٢	—	٤٨	—	فوق ظلة الغابة.																																																	
—	—	١٣٨	—	٢٤	—	تحت ظلة الغابة.																																																	
—	—	٥٣	١١	٢٩	٤ر٥	الترسيب الجوى.																																																	
—	—	٩٢	٥٠	١٥	٤ر٨	تحت ظلة الغابة.																																																	
—	—	١٢٢	—	٦٨	٤ر٢	الراشح من أفق O.																																																	
—	—	٨٩	—	٣٧	٤ر٤	الراشح من أفق BC.																																																	
٤٧	١٢٩	٩٣	٧٢	٨	٥ر١	الجداول.																																																	

تابع جدول ١٠ - ٥.

مستجمع Kelty فى اسكتلندا

مدخلات كبيرة للكبريتات والترسيب الحامضى ؛ تساهم ظلّة الغابة من أشجار الصنوبر فى التحميض ؛ يحدث امتصاص مرتفع للكبريتات بواسطة الأشجار ؛ فعل تنظيمى بسيط ضد الحموضة بواسطة الأرضى والمواد الجيولوجية ؛ كثير من الجداول غير مناسبة للأسماك.

ملليمكافى / م^٢ / سنة

المدخلات:

—	—	١٤٠	—	٧٢	—
—	—	٢٣٠	—	٨٠	—

فوق ظلّة الغابة.

تحت ظلّة الغابة.

ميكرومكافى / لتر

التركيز فى مياه:

—	—	٥٣	١١	٢٩	٤٥
—	—	١٦٤	٤٥	٥٧	٤٢
—	—	١١٥	—	١٠٠	٤٠
—	—	٧٣	—	٨٠	٤١
٦٢	٤٠	٩٣	٤٨	٣٤	٤٥

الترسيب الجوى.

تحت ظلّة الغابة.

الراشح من أفق O.

الراشح من أفق BC.

الجدول.

(Mason , 1992.)

لو يظل رقم حموضة المياه أعلى من ٠.٥ تنتج مشاكل قليلة، ومن ٠.٤ إلى ٠.٣ ره تتأثر أسماك كثيرة، وتحت ٠.٢٥ يحيا سمك قليل. ويعدّ السبب الرئيسى المباشر لذلك هو التأثير السام المباشر للألومنيوم والذي يتداخل مع الدور الذى يلعبه الكالسيوم فى المحافظة على نفاذية الخياشيم، ومن ثمّ فى التنفس ، ويمكن أن تكون سمية الألومنيوم مشكلة خطيرة، ويمكن أن تؤدى إلى موت معظم الأسماك تحت أى ظروف مناخية مثل الأمطار الغزيرة أو النوبان السريع للجليد (حيث يُعجّل بدرجة كبيرة من سريان المياه إلى الجداول أو البحيرة). ولقد تم إيضاح أن الكالسيوم يخفف تأثيرات الألومنيوم، ولكن فى بحيرات حامضية كثيرة كانت مستويات الكالسيوم غير كافية للتغلب على سمية الألومنيوم. وتفسد أرقام الحموضة المنخفضة حالة الصوديوم لبلازما الدم فى الأسماك. وتحت الظروف الحامضية جداً فإن تدفق أيونات الهيدروجين فى خلايا غشاء الخياشيم يُنشّط زيادة تدفق الصوديوم للخارج (أى خروجه) ويقلل فى نفس الوقت تدفقه إلى داخل الخلايا من المياه الخارجية. ويمكن أن يسبب الفقد الزائد للصوديوم موت الأسماك. وهناك تأثيرات أخرى غير مباشرة للتحميض على حياة الأسماك، وتشمل نقص معدلات التكاثر، وارتفاع معدل الموت المبكر فى الحياة أو فى أطوار التكاثر للأسماك البالغة، وهجرة الأسماك البالغة بعيداً عن المناطق الحامضية. وتتأثر البرمائيات كذلك بنفس الطريقة مثل الأسماك، بالرغم أنها أقل حساسية نوعاً ما لسمية الألومنيوم ، وغالباً يكون للطيور والثدييات الصغيرة أعداد أقل ومعدلات تكاثر أقل فى المناطق المجاورة للمياه العذبة التى تأثرت بالتحميض ، ويمكن أن يعزى هذا إلى النقص فى غذاء هذه الطيور والثدييات الصغيرة الذى سببه الأعداد الأقل للأسماك والحشرات أو إلى الضغوط الفسيولوجية التى يسببها استهلاك الكائنات لتركيزات عالية من الألومنيوم.

١٠ - ٢ - ٦ تصحيح تأثيرات الترسيب الحامضى:

يعتبر تصحيح التدمير البيئى الراجع للترسيب الحامضى صعباً ومكلفاً بدرجة كبيرة. وعلى المدى الطويل، فإنه يمكن إنجاز تصحيح هذه التأثيرات فقط عن طريق

تخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين. وتشمل بعض الأساليب لتحقيق ذلك منها:

(١) حرق وقود حجري أقل.

(٢) استخدام مصادر طاقة أنظف (مثل الفحم المحتوى على نسبة كبريت أقل، أو الرياح ونظم الطاقة الشمسية).

(٣) تصميم «أجهزة غسيل للغازات» "Scrubbers" أكثر كفاءة وذلك لتقليل كمية هذه الغازات المنبعثة من المؤسسات العامة، والصناعات، والمركبات. وهناك اجماع فى المجتمع العلمى على أنه سوف يؤدي تخفيض الانبعاثات إلى تحسينات بطيئة محتملة فى النظم البيئية التى تأثرت بالتحميض، وخصوصاً فى المياه العذبة. وفى الوقت الحالى، وبالرغم من الإدانة القوية لمعظم الدول لى تخفض الترسيب الحامضى، يبدو أن التكاليف المذهلة لمثل هذه الأفعال سوف تؤخر تنفيذ هذا الأسلوب لسنوات كثيرة. ولقد قدر الكونجرس الأمريكى أنه لى تخفض انبعاثات ثانى أكسيد الكبريت فقط بمقدار ٩ مليون طن متري سوف تكلف أكثر من ٣٦ بليون دولار على مدى خمس سنوات، كما قدرت وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة أن تكاليف ٢٠ سنة يمكن أن تزيد عن ٣٣ بليون دولار.

وتُعدّ الأعمال العلاجية للترسيب الحامضى على المدى القصير ميسرة وناجحة فى بعض النظم البيئية؛ فإضافة الجير للبحيرات وبعض الغابات يتم تطبيقه فى الدول الأوروبية لأكثر من ٥٠ عاماً، ويطبق حالياً فى مناطق أخرى كثيرة فى العالم. ولقد تم تجيير مئات البحيرات فى السويد والنرويج (أى تم تحسينها بإضافة الجير إليها) بنجاح فى العشرين سنة الماضية. وتعتمد فعالية الجير أساساً على زمن بقاء المياه فى البحيرة؛ فالبحيرات التى تبقى فيها المياه فترة قصيرة قد يلزمها إضافة جير مرة واحدة أو مرتين فى السنة؛ بينما البحيرات الأخرى يلزمها التجيير (إضافة الجير) كل ٥ - ١٠ سنوات. وعلى سبيل المثال، أضيف الجير إلى ١٠ بحيرات صغيرة فى Adl-randack فى الفترة ١٩٨٣ - ١٩٨٤، وازدادت نسبة حياة سمك السلمون فى الجدول من ١٠٪ عند رقم حموضة ٥ر٤ إلى ٦٠ - ٨٠٪ عند رقم حموضة ٥ر٥ إلى ٦ر٥ بحلول عام ١٩٨٦؛ ورغم ذلك، فإن ثلاث بحيرات حدث لها تحميض مرة أخرى

وبدرجة كبيرة سببت نقصاً في أعداد الأسماك. وتعتبر منطقية إضافة الجير للبحيرات مرعبة ؛ فالإضافة الجوية للجير بواسطة الطائرات والهليوكريتر غالباً مطلوبة، ومن هنا فإن تكاليف الإضافة تزيد بكثير عن تكلفة المواد الجيرية. وقد يكون لإضافة الجير (التجيير) بعض التأثيرات السلبية أيضاً. وتكيف أغلب الحياة النباتية في المناطق المزروعة غابات مع الأراضي الحامضية؛ وقد يُغيّر التجيير (أو التجيير الزائد) توزيع الأنواع في هذه النظم البيئية بطريقة لا يمكن التنبؤ بها وربما تكون غير مرغوبة.

المراجع :

- Bird, E. and Strange, M., Mares' Tails and Mackerel Scales, Center for Rural Affairs, Walthill, NE, 1992.
- Burke, L. M. and Lashof, D. A., Greenhouse gas emissions related to agricultural and landuse practices, Impact of carbon dioxide, trace gases, and climate change on global agriculture, in Kimball, B. A., Ed., ASA Special Publication No. 53, American Society of Agronomy, Madison, WI, 1990.
- Charles, D. F., Ed., Acidic Deposition and Aquatic Ecosystems, Springer - Verlag, New York, 1991.
- Council on Environmental Quality, Environmental Quality, 18 th and 19 th annual report, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1988.
- Earthquest, Atmospheric Trace Gases That Are Radiatively Active and of Significance to Global Change, Vol. 4, No. 2, Office for Interdisciplinary Earth Studies, Boulder, CO, 1990, 10.
- Krug, E. C. and Frink, C. R., Effects of acid rain on soil and water, Bulletin 811, Connecticut Agricultural Experimental Station, New Haven, CT, 1983.
- Lashof, D. A. and Tirpak, D. A., Policy Options for Stabilizing Global Climate, Draft report to Congress U.S. Environmental Protection Agency, Office of Policy, Planning, and Evaluation, Washington, D.C., 1989.
- Marion, G. M., Hendricks, D. M., Dutt, G. R., and Fuller, W. H., Aluminum and silica solubility in soils, Soil Sci., 121, 76, 1976.
- Mason, B. J., Acid Rain: Its Causes and Effects on Inland Waters. Oxford University Press, New York, 1992.

MacCracken, M. C. and Luther, F. M., Ed., Projecting the climatic effects of increasing carbon dioxide (1985), DOE/ER - 0237, U.S. Department of Energy, Washington D.D., 1985.

Moore, B., Presentation to the Global Warming Round Table, sponsored by the U.S. Department of Energy, Washington D.C., 1988.

U.S. Environmental Protection Agency, Acid Rain, EPA - 600 - 79 - 036, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1980.

U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Progress and Challenges: EPAs Update, EPA - 230 - 07 - 88 - 033, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1988.

White, R. M., The great climate debate, Sci. Am., 263, 36, 1990.

World Resources Institute, World Resources, 1988 - 1989. Basic Books, New York, 1988.

Wuebbles, D. J., and Edwards, J., Primer on Greenhouse Gases, Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1991.

مراجع مساعدة :

Conservation Foundation, State of the Environment: A View Toward the Nineties, Conservation Foundation, Washington, D.C., 1987.

Kamari, J., Impact Models to Assess Regional Acidification, Kluwer Academic Publishers, London, 1990.

Kennedy, I. R., Acid Soil and Acid Rain, John Wiley & Sons, New York, 1992.

Linthurst, R. A., Direct and Indirect Effects of Acidic Deposition on Vegetation, Butterworth Publishers, Stoneham, MA, 1984.

Reuss, J. O. and Johnson, D. W., Acid Deposition and the Acidification of Soils and Waters, Springer - Verlag, New York, 1986.

الفصل الحادى عشر

تقويم الخطر

يُعرّف الخطر بأنه احتمال أو فرصة حدوث ضرر Injury، أو خسارة Loss، أو تدمير Damage، وهذا هو التعريف الأكثر عمومية للخطر، والذي يشمل أنواعه المختلفة مثل الخسائر المالية، أو تدمير المباني أو المنشآت بسبب العواصف، أو التأثيرات على صحة الإنسان بسبب التعرض إلى الملوثات. وهناك خطر يتعرض له الإنسان والكائنات الأخرى مرتبط بتركيز الملوثات والمواد الأخرى فى الأراضى ، ويلخص هذا الفصل المفاهيم الأساسية التى تستخدم فى تقويم الخطر، كما يوضح كيف تتم الإفادة من عملية تقويم الخطر فى كتابة التشريعات البيئية مع التركيز على الأراضى.

ويشمل تعريفنا للخطر التأثيرات الواقعة على أى كائن حى بالرغم من تركيز المناقشة على التأثيرات الواقعة على صحة الإنسان، ويعتبر أهم تأثيرين يؤثران على صحة الإنسان أو أى كائن حى آخر هما: نسبة انتشار المرض ونسبة الموت العاجل والأجل. ويتم التعبير عن الخطر بالنسبة للكائنات بطريقة نموذجية على أنه عدد المخرجات السلبية (ضرر، أو خسائر، أو تدمير) مقسومة على عدد الكائنات المعرضة لهذا الخطر. وهناك وحدات أخرى تُعرّف التعرض للخطر، وهى غالباً مرتبطة بالخطر؛ فعلى سبيل المثال، الزيادة فى معدل السرطان لحالة واحدة فى المليون شخص قد تنشأ بعد أن يتعرض المرء طول حياته لمادة مسببة للسرطان؛ أما عن الزيادة فى ضحايا المرور فقد ترتبط بعدد الأميال المقطوعة. ويوفر جدول ١١ - ١ معلومات عن الخطر لعدد من أسباب الوفاة. وقد تم حساب الخطر الذى يتعرض له الفرد سنوياً عن طريق قسمة عدد الوفيات فى السنة لكل سبب من أسباب الوفاة فى عام ١٩٨٨ على تعداد سكان الولايات المتحدة (تقريباً ٢٥٠ مليون). وهذا يفترض أن جميع أعداد السكان معرضة

جدول ١١ - ١ الخطر الذى يتعرض له الفرد سنويا لأسباب الوفاة المختلفة
اعتماداً على بيانات عام ١٩٨٨.

النسبة*	الخطر الذى يتعرض له الفرد سنويا	أسباب الوفاة
٢٢١	3.11×10^{-2}	أمراض القلب.
٥٠٧	1.97×10^{-2}	السرطان.
٥٢٠٦	1.92×10^{-4}	حوادث المرور.
٦٠٧٠	1.75×10^{-4}	الداء السكرى.
٨٢٢٢	1.22×10^{-4}	الانتحار.
١٨٣٢٢	5.46×10^{-5}	القتل بسلاح نارى.
٢٠٦٦٨	4.84×10^{-5}	السقوط العرضى.
٥٩٥٣٨	1.78×10^{-5}	الغرق.
٦٥٧٠٣	1.52×10^{-5}	أجسام غريبة أو طعام فى الجهاز التنفسى.
٩٨٨٥٣	1.01×10^{-5}	عمليات جراحية أو علاجية.
٢٥٠١٤٠	2.86×10^{-6}	الإعدام بالكهرباء.
٥١٣٣٤٧	1.93×10^{-6}	حوادث الطيران التجارى.
٢٠٤٨٧٨٠	3.28×10^{-7}	البرق.

* حالة وفاة واحدة لكل عدد من الناس من إجمالى السكان.

لكل أنواع الخطر، وهذا، بالطبع، ليس صحيحاً بصفة دائمة. وبعبارة أخرى، يعتبر السكان المعرضون للخطر مجموعة فرعية من إجمالي السكان. وهناك أفراد آخرون غير معرضين لهذه الأخطار، وليس كل شخص يقود سيارة، أو يركب مركبة، أو ينتقل انتقلاً محدوداً بالطيران التجارى - معرضاً لهذه الأخطار. ويصير الافتراض صحيحاً بالنسبة للمسببات الأخرى مثل: الإعدام بالكهرباء، وحوادث السقوط العرضية أو وفيات الداء السكرى، حيث يكون كل شخص معرضاً للخطر بدرجة محدودة. ومع ذلك، فإن مثل هذه الحسابات البسيطة تسمح للناس أن يقدروا القيمة النسبية لخطر الموت بالأسباب المختلفة.

وهناك عدد من الاستجابات يستطيع الناس القيام بها لدرء الخطر؛ فيمكن درء الخطر أو القضاء عليه، كما هو الحال بالنسبة لمركبات الكلورفلوروكربون التى تستخدم كمواد دافعة فى علب الإيروسول، أو مركبات د.د.ت، وذلك لأن بدائلها ميسرة، ويمكن تنظيم سبب الخطر أو تعديله لتقليل تكرار المخرجات السالبة أو كميتها. ومن الأمثلة على ذلك: بناء منشآت تقاوم الفيضان، والحد من كمية المادة التى يمكن أن تضاف إلى الأراضى (مثل النتروجين والعناصر النادرة). هذا، ويمكن الحد من قابلية السكان المعرضين للخطر. وفى هذه الحالة، فإن أسباب الخطر تظل كماهى نفسها لم تتغير، غير أن الناس الذين يحتمل تأثرهم بالخطر قد يتلقون تحذيرات مسبقة أو تعليمات تساعدهم وتجعلهم قادرين على تقليل خسائرهم، كما أن هناك استراتيجيات عديدة تستخدم غالباً بعد وقوع الحوادث. فاستجابة لحوادث المرور مثلاً، يمكن تقديم خدمات أفضل عن طريق سيارات الإسعاف، وهو مايزيد فرص البقاء على قيد الحياة بعد الحوادث؛ غير أن مثل هذه الخدمات لا تقلل فرصة الوقوع فى الحوادث، كما يساهم التأمين أيضاً فى توفير التعويضات النقدية للخسائر المالية.

وتقويم الخطر عبارة عن عملية نحاول بها تحديد احتمال الضرر وحجمه، أو تحديد الخسائر، أو الدمار الذى قد ينتج من الضرر الصحى. وإدارة الخطر عملية عن طريقها نضع فى الحسبان تشعب نتائج تقويم الخطر: الاقتصادية، والسياسية، والقانونية، والأخلاقية. ويعتمد اتخاذ القرارات التشريعية (القوانين) على كل من عمليتى تقويم الخطر وإدارة الخطر.

وهناك سببان رئيسيان لاهتمامنا بتقويم الخطر من ملوثات التربة. الأول: يعتمد على أنه فى حالة ما إذا كان هناك تركيز مادة مافى التربة يزداد ببطء ويتعمد؛ فهل أئ كائن حى سوف يتعرض لهذه الزيادة غير المقبولة فى الخطر؟ الثانى: ما الأخطا المتزايدة (أى المضاعفات) التى يمكن أن نعرفها عن طريق الكائنات، والنااتة عن تلوث التربة الذى حدث بالفعل. ونعيد إلى الأذهان من شكل ٣ - ١ أن هناك طرقاً مباشر وطرقاً غير مباشرة تتعرض فيها الكائنات للمواد الضارة الموجودة فى الأراضى. وبنا على ذلك، يمكن حدوث زيادة الخطر بطريقة مباشرة نتيجة ابتلاع التربة نفسها (ع طريق الأطفال أو عن طريق رعى الماشية على سبيل المثال)، أو تحدث زيادة الخطر بطريقة غير مباشرة نتيجة استهلاك المياه الجوفية التى تلوثت بفعل مادة تسربت إليه بالرشح من خلال التربة أو نتيجة استهلاك المحاصيل المزروعة فى أرض ملوثة.

١١ - ٢ الوعى بالخطر:

لا تكتمل مناقشة تقويم الخطر بدون الاهتمام بوعى الجمهور بهذا الخطر مقارنة بالوعى لدى المجتمعات العلمية، ومما لاشك فيه أن الوعى بالخطر عند الفريقين (فريز الجمهور، الفرق العلمية) مختلف تماماً، كما يستجيب لعوامل مختلفة. ولقد أظهرت الدراسات أن الناس يشعرون بصفة عامة أنهم يواجهون أخطاراً اليوم أكثر من أئ وقت مضى. هذا بالرغم من الحقيقة التى تعنى أن متوسط العمر قد ازداد فى الأزمنة الحديثة. دعنا ندرس أولاً الوعى بالخطر عند الجمهور.

بات من المعروف جيداً أن عامة الناس يبالغون فى تقدير تكرار الأسباب النادر للموت، ويستخفون بتكرار مسببات الوفاة الشائعة، كما هو موضح فى جدول ١١ - ٢ فيموت عدد أقل من الناس نتيجة الإعصار، أو الفيضانات، أو الحمل، أو التسم مقارنة بالأعداد المقدرة بواسطة الجمهور؛ فالرقم الفعلى للوفيات كل سنة لائ من هذ الأسباب أقل من ١٠٠٠، كما يموت عدد كبير جدا من الناس بسبب مرض الربو

وسرطان المعدة، ومرض السكر، والسكتة الدماغية أكثر من الأعداد المقدرة بواسطة الجمهور؛ فيموت على سبيل المثال أكثر من ١٠٠٠٠٠ شخص سنوياً بسبب السكتة الدماغية. وتوضح هذه المعلومات أن الإلزام بمسببات الوفاة يحرك فينا نزعة الوعي بالخطر. وتُعدُّ الوفاة نتيجة التسمم شيئاً غير مألوف، ولذلك من المحتمل أن تذايع أو تنشر في نشرة الأخبار عبر وسائل الإعلام. وطالما أن الناس لم تتعود على التسمم كسبب للوفاة ؛ فجدير بالإشارة أن حالات الوفاة سوف ترفع وعيهم بالمسبب، وتجعلهم يدركون أن التسمم شائع الحدوث أكثر مما هو عليه فعلاً. وتعتبر الوفاة الناتجة عن السكتة الدماغية أمراً لا يستحق الإشارة إليه، وبمرور الزمن فإن حذر الناس من قدرة هذا السبب على الوفاة قد يقل.

ويوضح جدول ١١ - ٣ العوامل الأخرى التي تؤثر في وعي الجمهور بالخطر، وتشمل عملية الوعي بواسطة الجمهور عاملين أساسيين هما: الرعب والمعرفة (سواء كان الخطر معروفاً أو غير معروف). والرعب هو خوف مكثف من شيء ما يمكن أن يحدث. فآية حادثة أو أى نشاط مايسبب رعباً ويكون غير معروف نسبياً، سوف يحسبه الناس الأكثر خطراً من غيره، بينما أية حادثة أو أى نشاط ما يكون مألوفاً ولا يسبب رعباً سوف يعتبره الناس الأقل خطراً. وبمزيد من الإيضاح، فإن كثيراً من الحوادث، أو الأنشطة تقع في درجة متوسطة تقريباً في كونها قد تسبب رعباً مع أنها مألوفة لنا أو بالعكس، وحتى عندما يتم مباشرة الخطر عن طيب خاطر (أى اختياريًا) فهو أيضاً مسألة جديرة بالاهتمام؛ فالشخص الذي يدخن سيجارة يصبح معرضاً لخطر التدخين بدرجة أكبر جداً من الأشخاص غير المدخنين الخاضعين للتدخين السلبي، ومع ذلك فإن غير المدخنين سيعترضون على الخطر الناجم من التدخين أكبر من اعتراض المدخنين أنفسهم. ومخطط التصنيف الموضح في جدول ١١ - ٢ يكشف الهوية عن كثير من الاعتبارات المهمة عندما يعي الناس العاديون الخطر، ويسمح للمرء أن يتنبأ نوعياً بكيفية وعي الجمهور بنوع جديد من الخطر.

جدول ١١ - ٢ تكرار الوفاة التى يبالغ عامة الناس فى تقديرها أو يعطوها أرقاماً أقل من الواقع.

المبالغ فى تقديرها	ذات التقدير الأقل
الأعاصير.	الربو
الفيضانات.	سرطان المعدة
الحمل.	مرض السكر
التسمم.	السكتة الدماغية

(Slovik et al., 1979.)

وتعتبر التقارير المقدمة عن الحوادث أو التى تعمل كأنها إشارات منبهة للخطر عاملاً إضافياً يساعد فى شرح الاختلافات فى وعى الجمهور بالخطر عبر الزمن، وهذا يعنى ببساطة أن وعى الجمهور بالخطر - مهما كان صغيراً - يزداد كثيراً عن طريق حادثة أو واقعة كبيرة. ولقد جعلت الحادثتان النوويتان فى تشرنوبيل وجزيرة الأميال الثلاثة وعى الجماهير بأخطار الطاقة النووية يزداد بطريقة مثيرة، وقد لعب هذا الوعى الجماهيرى دوراً رئيسياً فى إبطاء أو إيقاف الاستخدام المتزايد للطاقة النووية فى الولايات المتحدة. وأدى القلق من تلوث شاطئ التايمز فى ميسورى Missouri بواسطة الديوكسين إلى زيادة الوعى الجماهيرى بأخطار الديوكسين، كما أدى اكتشاف شحنتين مسممتين من العنب المستورد من شيلي إلى مضاعفة الاهتمام بسلامة الغذاء عموماً. وقد أدى التقدم التكنولوجى إلى زيادة الوعى بالخطر لدى الجمهور، فى حين أن الجمهور فى نفس الوقت يعقد الأمل على التقدم التكنولوجى للخلاص والنجاة من الخطر، ويمثل هذا انقساماً ثنائياً فى أهداف أساليب التقدم التكنولوجى.

ويسبب وعى الجمهور بالخطر بعض الارتباك للوكالات التشريعية للبيئة. وفى حين أن هذه الوكالات عبارة عن وكالات جماهيرية قامت خصيصاً لتلبية احتياجات

جدول ١١ - ٢ العوامل المرتبطة بوعي الجمهور بالخطر.

عوامل ثانوية للوعي المرتفع بالخطر أو المنخفض	أمثلة من داخل العوامل		الوعي بالخطر
	الوعي المرتفع	الوعي المنخفض	
الوعي الواسع بالخطر	حادثة مفاعل نووي. حوادث غاز الأمصاب. الأسلحة (الحرب) النووية.	استهلاك الكافيين. استهلاك الأسبرين آلات الحصاد الكهربائية.	الوعي الواسع
	_____	_____	
المعرفة	المجالات الكهربائية. تقنية DNA. أسمدة التتروجين.	حوادث السيارات. حوادث الكحول. الأسلحة النارية الخفيفة.	

(Slovic, 1987.)

الجمهور واهتماماته، غير أنها لا تستطيع أن تبرر عدم كفاية وسائل الحماية من الأخطار التي يُساء فهمها أى التي يعيها الجمهور على أنها أسوأ كثيراً عماهى عليه بالفعل.

١١ - ٣ التسرطن/ السرطنة:

تتأثر الطرق المتبعة لتقويم الخطر فى حالة اذا ماكانت المادة المستخدمة تسبب السرطان أى مسرطنة. وقد قامت وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة بإعداد مشروع تصنيف للمواد المسببة للسرطان معتمدة على أدلة مستمدة من الإنسان والحيوانات، وهذا المشروع موضح فى جدول ١١ - ٤. والمواد التى فى المجموعة A معروف أنها تسبب سرطاناً للإنسان (مثل، الرادون، كلوريد الفينيل)، وتشير المجموعة B إلى مواد يحتمل أن Probable تسبب سرطاناً للإنسان، وتشير المجموعة C إلى مواد يمكن أن Possible تسبب السرطان للإنسان، كما تشير المجموعة D إلى مواد لم يتم تصنيفها بسبب عدم كفاية البيانات، والمجموعة E تشير إلى مواد لا يوجد دليل على أنها تسبب السرطان أى أنها غير مسرطنة. ولأغراض تشريعية، يتم دمج المجموعتين B + A ويسمى الناتج فئة I، وتسمى المجموعة C فئة II، وتجمع المجموعتان E + D ويسمى الناتج فئة III.

وكمثال عن كيفية تأثير هذا التصنيف فى عملية التشريع هو أن المرء يستطيع أن يستخدم أهداف الحد الأقصى للملوث (MCLG) بالنسبة لمياه الشرب. ويعبر MCLG عن التركيز الأقصى المرغوب للمادة فى مياه الشرب أخذاً فى الاعتبار جميع التأثيرات الضارة المحتملة من المادة. وتساوى قيمة MCLG لأى مادة فى الفئة I صفراً، بينما تلك القيم لمواد الفئة II والفئة III لا تساوى صفراً، محسوبة بطرق مختلفة. وإن تركيز صفر لا يمكن الحصول عليه، ويسمى المعيار الفعلى فى مياه الشرب بالحد الأقصى للملوث (MCL). وتتطلب التشريعات أن يكون الحد الأقصى للملوث MCL قريباً جداً من أهدافه MCLG بقدر الإمكان مع أفضل تقنية ميسرة لإزالة المادة من المياه.

ومن الواضح، أن هذه العملية تميل إلى أن تضغط الحد الأقصى للملوثة MCL ليكون مقداره لمواد الفئة I أقل من مقداره لمواد الفئة II أو الفئة III.

١١ - ٤ تقويم الخطر:

تتكون العملية العامة لتقويم الخطر من واحد على الأقل أو أكثر من الخطوات التالية:

(١) تحديد الخطر.

(٢) تقويم التعرض للخطر.

جدول ١١ - ٤ تصنيف المواد المسببة للسرطان بالاعتماد على أدلة مستمدة من الإنسان والحيوانات.

دليل من الحيوانات					دليل بشري
لا يوجد دليل	لا توجد بيانات	غير كاف	محدود	كاف	
A	A	A	A	A	كاف.
B1	B1	B1	B1	B1	محدود.
D	D	D	C	B2	غير كاف.
E	D	D	C	B2	لا توجد بيانات.
E	D	D	C	B2	لا يوجد دليل.

المجموعة A معروف أنها تسبب سرطاناً للإنسان ؛ المجموعة B1 مواد يحتمل أن تسبب سرطاناً للإنسان اعتماداً على أدلة تسرطن محدودة من دراسات علم الأوبئة البشرية ، المجموعة B2 مواد يحتمل أن تسبب سرطاناً للإنسان اعتماداً على أدلة تسرطن كافية من دراسات على الحيوانات ؛ المجموعة C مواد يمكن أن تسبب السرطان للإنسان ؛ المجموعة D مواد لم يتم تصنيفها بسبب عدم كفاية البيانات ، المجموعة E مواد لا يوجد دليل على أنها تسبب السرطان.

(٣) تقويم الاستجابة للجرعة.

(٤) توصيف الخطر.

تحديد الخطر: هو التقدير الكمي للمادة الذي يُظهر أن التعرض لها قد يسبب ضرراً. وهناك طريق واحد لمعرفة المادة التي تسبب ضرراً، وذلك عن طريق دراسات علم الأوبئة، والتي أوضحت ارتفاع تكرار المرض في المجموعة المعرضة بدرجة أعلى مقارنة بالمجموعة غير المعرضة لها. وتعتبر جميع المواد الجديدة خطرة بدرجة محدودة إلى أن يثبت غير ذلك. ويشار أحياناً إلى دمج تقويم التعرض للخطر، وتقويم الاستجابة للجرعة، وتوصيف الخطر بالتقدير الكمي للخطر.

١١ - ٤ - ١ تقويم التعرض للخطر:

تقويم التعرض هو العملية التي يتم بها تحديد هوية الكائنات المعرضة للوث ما، وكذلك تحديد جميع وسائل التعرض الممكنة للوث. ويتم أيضاً دراسة المشاركة النسبية لكل وسيلة من وسائل التعرض هذه في مقدار الجرعة التي يتلقاها الكائن المستقبل للوث. والجرعة هي كمية الملوثة التي تم بلعها أو التي تم استنشاقها. وينبغي على المرء أن يهتم بمعرفة كيف يستقبل الكائن الحي جرعة استهلاكية من الملوثة «جرعة البداية»؛ فعلى سبيل المثال يمكن أن يستقبل الإنسان والحيوان جرعة ملوثة بطريق الاستنشاق، أو بتعرض الجلد للوث، أو عن طريق ابتلاع الملوثة (شكل ٣ - ١). وعلى ذلك، فإن جودة الهواء، وفرصة تلامس الملوثة مع الجلد، وإمكانية وصول الملوثة للجهاز الهضمي ينبغي أن تؤخذ في الاعتبار في عملية تقويم التعرض للخطر. وتتعرض النباتات لطرق تلوث مشابهة. فتمتص النباتات العناصر الغذائية، والموثات، والماء من التربة، كما أنها حساسة للتغيرات التي تحدث في تركيب التربة. وتتنبس النباتات وتستجيب للتغيرات في جودة الهواء، كما يمكن أيضاً للنباتات أن تمتص المواد الملوثة من على السطوح الشمعية للأوراق، وهو يشبه مايتعرض له جلد الإنسان من تلوث؛ لذلك ينبغي أن يؤخذ في الاعتبار الأتربة الساقطة وجودة كل من التربة والمياه التي تلامس الأوراق.

وهناك مثال ممتاز لتقويم التعرض بالنسبة للتلوث المحتمل للتربة تم عمله وهو خاص بتشريعات التخلص من الحمأة المصرح بها من وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة في ديسمبر ١٩٩٢ ، وهذه التشريعات لها دلالات ضمنية بعيدة المدى، ولعل من بين فوائد تلك التشريعات هي حدود الكمية الكلية للعناصر النادرة التي يمكن أن تضاف إلى الأراضي عن طريق إضافة الحمأة للأراضي. ويوضح جدول ١١ - ٥ جميع مسارات التعرض المهمة في عملية تقويم الخطر بالنسبة لهذه التشريعات. وفي حين أن هذه الطرق استخدمت بالتحديد في دراسة إضافة الحمأة للأراضي؛ فبالمفهوم العام يمكن أن تكون هذه المسارات مناسبة لأي شيء تحتوى عليه الأراضي أو أي شيء يضاف إليها (مثل المبيدات، والمواد العضوية، والأسمدة). ويختلف بالطبع عدد أو أنواع هذه المسارات تبعاً لمصير العنصر وآليات انتقاله. ولكل مسار كائن ما يُعد نقطة نهاية، وتعتبر التأثيرات السلبية المحتملة على الكائن هي المقلقة والمهمة.

ولعل أحد خطوات تقويم التعرض بالنسبة لتشريعات الحمأة هو تحديد (أو كشف هوية) المسار الأكثر حساسية لكل عنصر نادر ، ويشير المسار الأكثر حساسية إلى المسار الذي يحدث فيه التأثير العكسي عند أقل تركيز للتلوث التربة. وتشمل الأمثلة: المسار رقم ٧ بالنسبة للبورون، والزنك، والنحاس، والنيكل في الأماكن التي تحد فيها السمية من نمو النبات قبل حدوث تأثيرات سلبية على الكائنات الأخرى ، ويعد المسار رقم ٢ بالنسبة للرصاص والفلورين في الأماكن التي يسبب الاستهلاك المباشر للتربة أكبر المشكلات؛ وكذلك المسار رقم ٥ بالنسبة للموليبدنم والسلينيوم في الأماكن التي تعاني فيها الحيوانات المجترة من التسمم بالموليبدنم أو السلينيوم؛ لأن امتصاص النبات لهذين العنصرين يحدث بدون أن تقوم النباتات بأنفسها بتجربة سميتها، أو قبل أن تصبح الكائنات الأخرى في خطر، والمسار رقم واحد بالنسبة للكاديوم في الأماكن التي يمثل انتقاله في السلسلة الغذائية إلى الإنسان أكبر مشكلة مزعجة. ويلعب مصير هذه العناصر النادرة وآليات انتقالها في الأراضي دوراً واضحاً في تقدير أي مسار أكثر حساسية تنتهي إليه هذه العناصر؛ فعلى سبيل المثال، يدمص (يُمسك) الرصاص بواسطة الأراضي بقوة كبيرة وبدرجة تجعل امتصاصه بواسطة

النبات وبالتالي انتقاله في السلسلة الغذائية إلى الإنسان والحيوان قليل الأهمية، ولكن الاستهلاك المباشر للتربة يعتبر مقلقا ومهما. ومن ناحية أخرى، يمتص الكادميوم بسرعة وبسهولة بواسطة النباتات وينتقل بسهولة من التربة في السلسلة الغذائية.

وأثناء تقدير المسار الأكثر حساسية للتلوث يتم أيضا تحديد الفرد المعرض للتلوث بدرجة عالية HEI، وهو الفرد الذي يحدث له أكبر ضرر عند التعرض لأقل جرعة من الملوث عندما تبلغ نسبة المعرضين للتلوث أكثر من ٩٥٪ من تعداد الأفراد. ويمثل الفرد المعرض للتلوث بدرجة عالية HEI قسماً فرعياً لكل مجموعة من الكائنات. وقد يكون الأساس في تقسيم الكائنات هو الجنس، أو العمر، أو تدخين السجائر، أو التعود على نظام غذائي معين، أو مصادر الغذاء، أو منطقة الإقامة. ويبين جدول ١١ - ٥ الأفراد المعرضين للتلوث بدرجة عالية HEIs لكل مسار مستخدم في تشريعات التخلص من الحماة. وهناك أمثلة أخرى لهؤلاء الأفراد المعرضين للتلوث بدرجة عالية تشمل: الأطفال بالنسبة للنترات في مياه الشرب، أو الطيور المفترسة أو الأفراد أصحاب نظام غذائي معين يشمل أساساً الأسماك، أو من يتعرضون لمبيد د.د.ت. والافتراض الأساسي المسبق وراء مفهوم الفرد المعرض للتلوث بدرجة عالية HEI هو أنه لو تستطيع التشريعات أن تحمي الفرد الحساس والأكثر تعرضاً للتلوث في المسار الأكثر حساسية، يلزم عن ذلك من باب أولى أن جميع الأفراد الآخرين حينئذ سيتم حمايتهم أيضاً من التلوث. وفي الواقع العملي، فإن الفرد المعرض للتلوث بدرجة عالية لا يستخدم في جميع حسابات تقييم الخطر. وعندما يستخدم الفرد المعرض للتلوث في هذه الحسابات المشار إليها، فإن اختيار هذا الفرد المناسب يعدّ عملية مهمة. ومن السهل وضع سيناريو يحدد مواصفات هذا الفرد HEI؛ بحيث لا يوجد بين السكان أفراد تنطبق عليهم أوصاف هذا الفرد المعرض للتلوث بدرجة عالية. وعندما يحدث هذا ستصبح الحسابات لخطر لا يمكن أن يوجد، وتصبح النتائج وقائية أكثر مما ينبغي.

ولكى تقدّر نتائج تعرض الناس لنظام غذائي معين، ينبغي عمل تقدير دقيق للأغذية التي يستهلكونها. وهذا لا يمكن انجازه إلا بدراسة جميع الأغذية. وتشمل هذه

جدول ١١- ٥ نماذج مسارات التعرض للتلوث من إضافة حمأة المجارى للأراضي.

المسار*	وصف الفرد المعرض للتلوث بدرجة عالية (HEI)
١- الحمأة ← التربة ← النبات ← الإنسان.	انتقال في السلسلة الغذائية ؛ ٢٠ ٪ من الأغذية التي أصلها نباتات تنتج من أراضي محسنة بالحمأة ؛ تعرض طول العمر.
F-١ : حمأة ← تربة ← نبات ← إنسان.	أرض صالحة للزراعة تحولت إلى حدائق منزلية للسكان بعد ٥ سنوات من بلوغ الحد الأقصى لإضافة الحمأة ، ٥٠ ٪ من الغذاء مصدره الحدائق ، تعرض طول العمر.
F-٢ : حمأة ← تربة ← إنسان (طفل).	أرض صالحة للزراعة تحولت إلى أغراض سكنية بعد ٥ سنوات من بلوغ الحد الأقصى لإضافة الحمأة مع أطفال يتلعون التربة (٢٠٠ مجم / يوم) .
٣ - حمأة ← تربة ← نبات ← حيوان ← إنسان.	سكان المزرعة ، ٤٠ ٪ من اللحوم تنتج على أراضي محسنة بالحمأة ، تعرض طول العمر.
S-٤ حمأة ← حيوان ← إنسان.	سكان المزرعة ، ٤٠ ٪ من اللحوم تنتج على مراعى مرشوشة بالحمأة ، تعرض طول العمر.
M-٤ : حمأة ← تربة ← حيوان ← إنسان.	سكان مزرعة ، ٤٠ ٪ من اللحوم تنتج على أرض محسنة بالحمأة ، تعرض طول العمر، حيوانات تبتلع التربة أثناء الرعى.

حيوانات تتغذى على نباتات نامية في أرض محسنة بالحماة.	٥: حماة ← تربة ← نبات ← حيوان.
رعى الحيوانات لمراعى مرشوشة بالحماة ، ١٥٪ حماة في الغذاء.	S-٦ : حماة ← حيوان.
رعى حيوانات ، ٢٥٪ خليط من التربة والحماة في الغذاء .	M-٦ : حماة ← تربة ← حيوان.
محاصيل نامية في أرض محسنة بالحماة.	٧- حماة ← تربة ← نبات.
كائنات حية تعيش في تربة محسنة بالحماة.	٨- حماة ← تربة ← كائنات.
الزبابات أو الطيور ، ٣٢٪ من الغذاء عبارة عن ديدان أرض محسنة بالحماة.	٩- حماة ← تربة ← كائنات التربة ← مفترسات
الزبابات أو الطيور ، السكن في تربة محسنة بالحماة.	D-٩: حماة ← تربة ← كائنات التربة ← مفترسات
عامل الجرار يتعرض للأتربة .	١٠: حماة ← تربة ← أتربة في الهواء ← إنسان.
معايير جودة المياه.	١١: حماة ← تربة ← مياه سطحية ← إنسان.
سكان مزرعة يتنفسون أبخرة ملوثات متطايرة في الحماة.	A-١٢ : حماة ← تربة ← هواء ← إنسان
-- آبار المزرعة توفر ١٠٠٪ من المياه المستخدمة لحياة الأفراد.	W-١٢: حماة ← تربة ← مياه جوفية ← إنسان.

(EPA, 1989; Ryan and Chaney, 1993; and Chanoy and Ryan, 1993.)

* F = المستقبل ، S = إضافة سطحية ، D = مباشرة ،

M = تم الخلط مع طبقة المحراث ، A = الهواء ، W = المياه.

الدراسة القيام بحصر المستهلكين لتحديد عدد وأنواع مجموعات الغذاء المختلفة التي تستهلكها فئات السكان المختلفة حسب الجنس والعمر. وإذا تغير تركيب واحدة أو أكثر من مجموعات الغذاء، حينئذ يمكن تقدير تأثير هذا التغير على السكان.

وهناك نتائج ميسرة أيضاً عن متوسط استهلاك المياه بواسطة الأطفال والبالغين. ويُفترض في الغالب ٢ لتر في اليوم للبالغين، بالرغم أن هذا الرقم على الأرجح مغالى في حسابه بالنسبة لمعظم الأفراد. وتعتبر عوامل المغالة في التقدير (مثل استهلاك الماء أو الطعام) طريقاً آخر لتأسيس السلامة في عملية تقويم الخطر. ولقد دُرِس أيضاً بكثافة موضوع ابتلاع الأطفال للتربة. فيستهلك معظم الأطفال (عمر ١ - ٦ سنة) أقل من ١٠ جرام تربة في اليوم، ويساهم فيها الغبار من داخل المباني، كما تساهم التربة من الخارج بمقدار يتراوح من صفر إلى ١٠٠٪. ومن ناحية أخرى، وجد أن بعض الأطفال المصابين بمرض البیکا (الوحم أو الرغبة في ابتلاع أشياء غير الغذاء) يبتلعون أكثر من ٨ جرام تربة في اليوم، وهذه نتائج متوسط قياسات لأكثر من عشرة أيام.

١١ - ٤ - ٢ تقويم الاستجابة للجرعة:

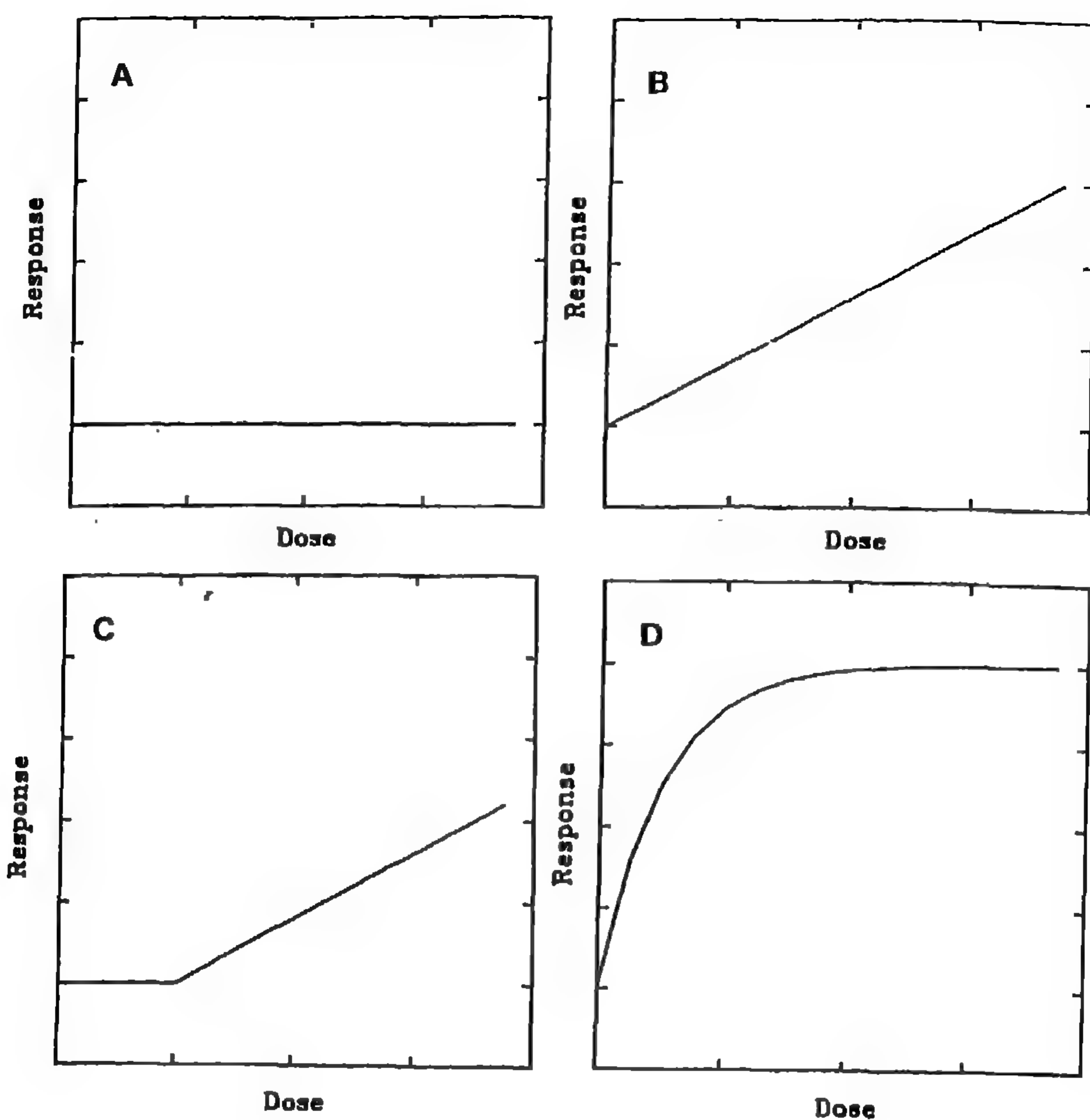
بصفة عامة، يعتمد تقويم الاستجابة للجرعة على العلاقة بين كمية المادة التي يستقبلها كائن ما (الجرعة) وتأثيراتها على ذلك الكائن (الاستجابة). ويمكن أن تكون الاستجابة مقبولة أو غير مقبولة. وفي عملية تقويم الخطر، فإن تقويم الاستجابة للجرعة قد تأخذ بيانات من تقويم التعرض، وتحدد التأثيرات على الكائنات المعرضة.

ويشكل منحنى الاستجابة للجرعة الأساس الفكري لعملية تقويم الاستجابة للجرعة، وهذه المنحنيات يمكن أن تكون ذات أشكال عامة متنوعة، كما هو مبين في شكل ١١ - ١ (أ) يوضح عدم وجود استجابة للجرعة، والشكل ١١ - ١ (ب) عبارة عن استجابة خطية، والشكل ١١ - ١ (ج) عبارة عن استجابة خطية مع

بداية فى شكل عتبة، والشكل ١١ - ١ (د) استجابة مقاربة فى شكل منحنى. لاحظ أن المنحنيات لا يجب أن تمر بنقطة الأصل، وهذا يوضح أن الاستجابة قد تحدث لدى السكان بدون تعرض للمادة محل السؤال. وبعبارة أخرى، قد يكون هناك عوامل أخرى تحفز الاستجابة بالإضافة إلى المادة المدروسة.

وهناك قيمة تحسب أحيانا من تجارب الاستجابة للجرعة وهى **حد التأثير العكسى غير الملاحظ (NOAEL)**. وهو عبارة عن أعلى جرعة يمكن تقديمها بدون أن تحدث زيادة معنوية إحصائيا فى الاستجابة العكسية. فعلى سبيل المثال يتنبأ المنحنى الخطى لاستجابة الجرعة بزيادة فى الاستجابة مع كل زيادة فى الجرعة، مهما كانت هذه الزيادة صغيرة. وبالرغم من ذلك، فإن الزيادة فى الاستجابة عندما تزداد الجرعة من الصفر يجب أن تكون كبيرة بدرجة كافية لى تكون معنوية إحصائيا. ويعتبر حد التأثير العكسى غير الملاحظ NOAEL مقياساً للمقدار الذى يجب أن تزداد به الجرعة قبل أن تحدث استجابة أو قبل أن يتخطى عتبة البداية. وتستخدم قيمته فى بعض حسابات تقويم الخطر.

ومهما تكن درجة الدقة فى تعريف حد التأثير العكسى غير الملاحظ NOAEL، فإن التجارب القليلة للاستجابة تستخدم بالفعل جرعات قريبة من قيمة حد التأثير العكسى غير الملاحظ NOAEL لدرجة أنه يمكن تقديره (NOAEL) بدرجة عالية من الثقة. وفى الحقيقة، تعتبر الجرعات المستخدمة فى تجارب الحيوانات أعلى بكثير عما يتوقع أن يستقبله الإنسان. والسبب الأساسى لهذا هو أن الزيادة فى الاستجابة المرئية عند الجرعات المنخفضة المتوقعة فى الإنسان صغيرة جداً لدرجة أنها تتطلب عدداً ضخماً من حيوانات المعمل يتم تعريضها لجرعات منخفضة على مدار فترات ممتدة من الزمن من أجل الحصول على نتائج معنوية إحصائياً. وهكذا، فإن المشكلة الرئيسية فى تقويم الاستجابة للجرعة هى استقراء نتائج التجارب المتحصل عليها من الجرعات العالية المعطاة للأرانب فى المعمل بالنسبة للجرعات المنخفضة التى سوف تحدث فعلاً للإنسان. وقد تستخدم نماذج عديدة لهذا الاستقراء. وبصفة عامة، فقد تم افتراض



شكل ١١ - ١ الأشكال الأربعة العامة للاستجابة للجرعة . المنحنى (A) يعكس عدم الاستجابة ؛ المنحنى (B) عبارة عن استجابة خطية ؛ المنحنى (C) عبارة عن استجابة خطية لها بداية في شكل عتبة ؛ المنحنى (D) يمثل استجابات مقاربية في شكل منحنى.

المنحنى الخطى للاستجابة للمواد التى تسبب السرطان، وتم افتراض المنحنى الذى له عتبة للاستجابة للمواد التى لا تسبب السرطان مالم يوجد دليل يثبت العكس.

ويعتبر استقراء النتائج المتحصل عليها من دراسات الحيوان للتطبيق على الإنسان مشكلة ثانية رئيسية فى تقويم الاستجابة للجرعة. وهناك اعتقاد متفق عليه بأن المواد المعروفة عنها أنها تسبب السرطان فى الإنسان سوف تسبب السرطان فى الحيوانات أيضاً، غير أن العكس لم يتضح نتائجه بشكل حاسم. وهناك أسئلة واضحة تتعلق بالجوانب الأخلاقية، وهى أن تجارب الاستجابة للجرعة لا يمكن تنفيذها على الإنسان. وبالإضافة إلى ذلك، فإن دراسات علم الأوبئة الخاصة بالإنسان ذات قيمة محدودة فى تعريف العلاقات الكمية للاستجابة للجرعة. وبناء على ذلك، فإن استخدام حيوانات المعمل لتقدير الاستجابة للجرعة - مع جميع مواطن الضعف الظاهرة - يعتبر مكوناً ضرورياً لتقويم الخطر.

ويُعدّ اختبار أميس Ames أحد الأساليب المهمة للاستقراء من الجرعة العالية إلى الجرعة المنخفضة ومن الحيوانات إلى الإنسان. وقد سُمى هذا الاختبار بهذا الاسم نسبة إلى مبتكره بروس أميس Bruce Ames، وهو أستاذ كيمياء حيوية فى جامعة كاليفورنيا فى بيركلى. ويعتبر اختبار أميس وسيلة لترتيب الأضرار السرطانية الممكنة فى الإنسان عن طريق حساب قيمة نسبة «تعرض الإنسان: قوة القارض» (HERP). وتُحسب هذه القيمة بالتعبير عن معدل الامتصاص اليومي للمادة المشكوك فى أنها تسبب السرطان (مجم/ كجم/ يوم) كنسبة من TD₅₀ للمادة فى أصناف القارض الأكثر حساسية. وتعرف TD₅₀ بأنها الجرعة اليومية من المادة التى تحدث ورماً خبيثاً فى ٥٠٪ من حيوانات المعمل عند نهاية عمر معيارى. وهناك أمثلة لقيم HERP مدونة فى جدول ١١ - ٦.

وقد وجد أن اختبار أميس مثيراً للخلاف والجدل إلى حد ما، ولا يستخدم فى اتخاذ القرار التشريعى. وبالرغم من ذلك، فإنه يعطى بعض المقارنات المهمة، على سبيل المثال فهو يبين أن الخطر النسبى الناتج من بعض الملوثات البيئية (مثل تراكى

كلورو إيثيلين، ومركبات PCBs) أو بقايا المبيد (مثل د.د.ت، إيثيلين داى بروميد EDB) أقل من الخطر الناتج من بعض الأتوية أو من بعض المسرطنات الطبيعية الموجودة فى غذائنا ومشروباتنا، كما يوضح أيضاً أن قيم HERP لدوائين من الوصفة الطبية (الروشتة) يتم تعاطيهما على فترات ممتدة من الزمن - عالية نسبياً، عما تكون عليه القيم الخاصة بتعرض العمال للفورمالدهيد أو EDB. وعند مناقشة الوعى بالخطر، ظهر بوضوح أن الخطر الناتج من تعرض الغذاء لمركبات PCBs، أو د.د.ت، أو إيثيلين داى بروميد ينتظر أن يكون أكبر بكثير جداً من ذلك الخطر الناتج من استهلاك زبدة الفستق، أو مياه الحنفية المعاملة بالكلورين، أو المشروبات الكحولية؛ هذا إلى جانب أن اختبار أميس يمكن أن يستخدم من ناحية أخرى للأخطار الحقيقية المعتمدة على التسرطن.

١١ - ٤ - ٣ توصيف الخطر:

يقوم توصيف الخطر بدمج النتائج من تقويم التعرض للخطر وتقويم الاستجابة للجرعة، كما يقوم أيضاً بتحديد ممارسات الإدارة التى تنتج تعرضاً مقبولاً للكائنات المستقبلية. وهى فى الغالب حسابات استرجاعية، تبدأ بتعرض مقبول لكائن ما، ثم الرجوع مرة أخرى لممارسات الإدارة أو التركيزات فى البيئة (التربة أو المياه) التى تُنتج التعرضات القصوى المقبولة. ومثل هذه الحسابات قد تشكل الأسس للأعمال التشريعية.

والقيمة التى تستخدم أحياناً فى توصيف الخطر هى الجرعة المرجعية RfD؛ وهى الامتصاص اليومي لمركب كيميائى والذى - إذا ما امتص خلال فترة الحياة الكاملة - قد لا يسبب خطراً. ووحدات تمييز الجرعة المرجعية هى ملليجرام لكل كيلو جرام (مجم/كجم) من وزن الجسم يوميا. وتحسب أحياناً بأنها:

جدول ١١ - ٦ دليل «تعرض الإنسان : قوة القارض» (HERP) لبعض المواد المختارة.

قيمة HERP (%)	الجرعة التي تحدث سرطاناً لكل شخص وزنه ٧٠ كجم	تعرض الإنسان في اليوم
٠.٠٠١	كلوروفورم ، ٨٣ ميكروجم.	- مياه الحنفية المكلورة ، واحد لتر.
٠.٠٠٤	تراي كلوراثيلين ، ٢٨٠٠ ميكروجم.	- مياه الآبار الملوثة ، ١ لتر.
٠.٠٠٨	كلوروفورم ، ٢٥٠ ميكروجم.	- مياه الخزان المكلورة ، ١ ساعة (طفل).
٠.٦	فورمالدهيد ، ٥٩٨ ميكروجم.	- هواء المنزل العادي (١٤ ساعة / يوم).
٠.٠٠٠٢	PCBs ، ٠.٢ ميكروجم.	- مركبات PCBs ، تناول يومي ضمن الغذاء.
٠.٠٠٠٣	DDE ، ٢٢ ميكروجم.	- DDE ، ددت ، تناول يومي ضمن الغذاء.
٠.٠٠٠٤	EDB ، ٤٢ ميكروجم.	- EDB ، تناول يومي ضمن الغذاء.
٠.٠٠٣	راي ميثيل تترهيدرو أمين ، ٠.٣ ميكروجم.	- لحم خنزير مقدد ، مطبوخ (١٠٠ جم).
٠.٢	أفلاتوكسين ، ٦٤ نانوجم.	- زبدة الفستق ، سندوتش واحد (٣٢ جم).
٠.١	خليط من مركبات الهيدرازين.	- عيش الغراب ، نبي (١٥ جم).
٢٨	كحول إثيلي ، ١٨ مل.	- بيرة ، ٣٥٤ مل.
٤٧	كحول إثيلي ، ٣٠ مل.	- نبيذ ، ٢٥٠ مل.
١٦	فينوباربيتال ، ٦٠ مجم.	- فينوباربيتال ، قرص واحد منوم.
١٧	كلوفيبيرات ، ٢٠٠٠ مجم.	- كلوفيبيرات (متوسط جرعة يومية ، لتخفيض الكوليسترول).
٥٨	فورمالدهيد ، ٦.١ مجم.	- فورمالدهيد ، المتوسط اليومي للتناول.
١٤٠	EBD ، ١٥٠ مجم.	- EDB ، المتوسط اليومي لتناول الجرعة العالية.

(Ames et al., 1987.)

الجرعة المرجعية = حد التأثير العكسي غير الملاحظ ÷ عامل الأمان. وعامل الأمان له قيمة من ١٠ إلى ١٠٠٠ كما هو الحال عندما يتم استقراء نتائج الحيوانات على الإنسان. وتتغير قيمة عامل الأمان تبعاً للمقارنات بين الأنواع المختلفة والدراسات الخاصة باستخدام التعرضات المزمنة، وتحت المزمدة، والحادة. وتوضح الأمثلة العديدة بدرجة أفضل تطبيقات توصيف الخطر.

والأترازين مبيد للحشائش الضارة، ويستخدم عامة لمكافحة الحشائش في صفوف المحاصيل. والسؤال الوحيد الذي حدث حوله خلاف هو هل الأترازين يجب أن يُصنّف كأحد مسرطنات المجموعة B2 أو المجموعة C؟ ولقد أظهرت أحد الدراسات باستخدام سلالة واحدة من الفئران تفشى أورام خبيثة بالثدى بعد تعرض الفئران للأترازين، غير أن وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة لا تشعر أن هذا دليل كافٍ لوضع الأترازين في المجموعة B2، وأوضحت الدراسات العديدة أن قيمة حد التأثير العكسي غير الملاحظ تتراوح من ٤٨ ر. إلى ٠ ر. مجم/كجم/يوم. وشملت الاستجابات انحلال أو تفسخ عضلة القلب في الكلاب إلى أوزان أقل للجرزان (أفراد الجيل الثانى للفئران). وتستخدم وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة أصغر قيمة لحد التأثير العكسي غير الملاحظ NOAEL لحساب الجرعة المرجعية. وفي هذه الحالة، حسبت الجرعة المرجعية RfD بأنها تساوى ٤٨ ر. مجم/كجم/يوم (= خارج قسمة حد التأثير العكسي غير الملاحظ ÷ معامل الأمان ١٠٠). ومن الجرعة المرجعية يمكن حساب الحد المكافئ لمياه الشرب DWEL كمايلي:

$$DWEL = \frac{RfD \times BW}{I_w} \quad (11 - 1)$$

حيث:

BW = وزن الجسم للشخص البالغ (يُستخدم ٧٠ كجم كوزن نموذجي).

I_w = كمية مياه الشرب المستهلكة بواسطة الإنسان في اليوم (٢ لتر/اليوم).

وتكون قيمة DWEL هي التركيز الأقصى للأترازين المسموح به في مياه الشرب بافتراض أن الشخص يحصل على كل الأترازين الخاص به من المياه. وفي هذه الحالة فإن $DWEL = 0.168$ مجم/لتر.

والخطوة التالية هي حساب أهداف الحد الأقصى بإحدى طريقتين. والطريقة المفضلة هي ضبط أو تعديل الحد المكافئ لمياه الشرب DWEL اعتماداً على كمية المادة الكيماوية المأخوذة من مصادر أخرى مثل الغذاء والهواء. وإذا لم تكن هذه المعلومات ميسرة (الحالة المعتادة)، حينئذ فإن MCLG يحسب بافتراض أن ٢٠٪ من المادة الكيماوية يتم الحصول عليه من مياه الشرب. ويستخدم عامل السلامة الإضافي ١٠ للأترازين ؛ لأنه مادة مسرطنة تتبع المجموعة C. وبذلك تكون قيمة MCLG كالتالي:

$$\frac{0.168 \text{ مجم / لتر} \times 0.2}{10} = 0.0033 \text{ مجم / لتر} \quad (11 - 2)$$

وتسمح أحسن التقنيات الميسرة بأن يكون MCL هو نفس MCLG للأترازين. وهكذا فإن معيار مياه الشرب أصبح ٠.٠٠٣٣ مجم/لتر (٣ جزء في البليون)؛ وأي مصدر لمياه الشرب يتعدى فيه متوسط تركيز الأترازين ٣ جزء في البليون يجب اتخاذ خطوات فعالة لتقليل تركيز الأترازين فيه عن الحد المذكور. ويمكن إزالة الأترازين من المياه بالترشيح بالفحم، بالرغم أن هذه العملية مكلفة.

لقد حدث خلاف كبير بخصوص الأترازين. فتشعر بعض الجماعات أو الأحزاب أنه يوجد دليل كاف لتحريم الأترازين أو حظر استخدامه نهائياً. أما مستخدمو الأترازين فيشعرون أنه وسيلة مهمة (فعالة ورخيصة التكلفة) في إنتاج المحاصيل، وأن الأترازين مأمون عندما يستخدم بطريقة سليمة. والقانون الفيدرالي لمبيدات الحشرات، والفطريات، والقوارض (FIFRA) هو تشريع يغطي عملية تصنيف الأترازين، وهو يشترط أن الأترازين يجب أن يؤدي الغرض المقصود منه بدون تأثيرات عكسية غير

معقولة على البيئة. وتوصف التأثيرات العكسية غير المعقولة بأنها أى خطر غير معقول للإنسان أو البيئة، مع الأخذ فى الحسبان التكاليف والمنافع الاقتصادية والاجتماعية، والبيئية لاستخدام الأتزازين ، ويتضح من ذلك أن القانون يوفر الحاجة لموازنة أخطار الأتزازين فى مقابل منفعه. وبذلك يصبح القانون فى الوقت الحالى فى جانب منافع الأتزازين. ويُعتبر بند التكاليف مهماً فى هذه الحالة بسبب ارتفاع تكلفة الفترة بواسطة الفحم. وإذا استخدمت المياه السطحية كمصدر رئيسى لمياه الشرب فقد يكون لها مشكلات تتعلق بمواجهة معيار الأتزازين (٣ جزء فى البليون) فى حالة استخدام الأتزازين بدرجة مكثفة فى منطقة الصرف الخاصة بمصدر المياه. وهناك حالة واحدة فريدة، تم فيها إنشاء منطقة إدارة للمبيد حول مستودع مياه فى كنساس، ووضعت قواعد أكثر صرامة لاستخدام الأتزازين بمستوى أكثر من المطلوب بواسطة بطاقة المنتج. وحتى هذا الوقت، فالإذعان لهذه القواعد عملية اختيارية، ولكن بدون تخفيض فى تركيز الأتزازين فى المستودع، وفيما بعد، قد يصبح الإذعان لهذه القواعد إلزامياً. وهناك مثال آخر لتوصيف الخطر يتعلق بمعدل الإضافة التراكمى المسموح به لمادة ملوثة للتربة عن طريق إضافة حمأة المجارى للأرض، كما تم وصفه سابقاً، وبحسب معدل الإضافة المرجعى (Rp كجم/هكتار) كما يلى:

$$RP = \frac{\left[\frac{RfD \times BW}{RE} - TBI \right] \times 10^3}{\sum UC_i \times DC_i \times FC_i} \quad (11 - 3)$$

حيث:

Rp , BW , RfD = كما عرفت سابقاً.

TBI = معدل الامتصاص الكلى الأساس للملوثة (مجم/يوم).

$RE =$ التأثير النسبي للتعرض للابتلاع [بدون وحدات، عامة يفترض أن يكون (١) إذا لم يوجد دليل بعكس ذلك].

$10^3 =$ معامل التحويل (ميكروجرام / ملليجرام).

$UC_i =$ ميل استجابة الامتصاص بالنسبة لمجموعة الغذاء i (ميكروجرام / جم مادة جافة لكل كيلو جرام مادة ملوثة مضافة لكل هكتار).

$DC_i =$ استهلاك الغذاء في اليوم لمجموعة الغذاء i (جرام مادة جافة لكل يوم).

$FC_i =$ جزء مجموعة الغذاء i والمفترض أنها تنشأ من تربة محسنة بالحماة

بدون وحدات، مفترض أنها ٥٠٪ لجميع السكان ككل).

ويتم الحصول على قيمة DC_i من دراسة الغذاء الكلي. وبالرغم أن الحسابات الفعلية ثقيلة ومرهقة، سوف لا نعيد تكرارها هنا، إلا أنه ينبغي على القارئ أن يقدر قيمة الجوانب العديدة للمعادلة ١١ - ٢. والمعادلة مكتوبة للإنسان ككائن مستقبل، بالرغم أنها صالحة لأي كائن بشرط أن تكون البيانات المطلوبة متيسرة. والبسط في المعادلة يُقدّر الجرعة المؤثرة المسموح بها للمادة الملوثة للكائن المستقبل فوق مستوى الأساس. والمقام يُقدّر الزيادة في تركيز الملوث في كل مجموعة غذاء عندما يضاف الملوث إلى التربة، كما يقوم بتحليلها إلى:

(١) القدر الذي يُستهلك من مجموعة الغذاء هذه،

(٢) نسبة مجموعة الغذاء هذه التي تنشأ من الأراضي المتأثرة بالملوث.

وفي حالة ابتلاع التربة المباشر، فإن المقام يتغير ليعكس التغير في تركيز الملوث في التربة عندما يضاف الملوث إلى التربة ويزداد معدل ابتلاع التربة. وقد يتطلب الأمر إضافة عوامل أمان إضافية.

وبالرجوع إلى الفصل السابع نجد أن تلوث العناصر النادرة للأراضي مستمر بصفة دائمة، ولذلك ينبغي الاعتراف بأن تشريعات التخلص من الحماة تسمح بحدوث

كمية معينة من التلوث غير العكسي للأراضي، وهذا يتناقض مع فلسفة غرب أوروبا التي تذهب إلى أن الأراضي ذات سعة محدودة لامتناع الملوثات بدون نتائج سلبية، وأن على الإنسان أن لا يستنفد أى قدر من تلك السعة (بمعنى أن التركيزات فى الأراضي يجب أن لا تسمح لها بأن تتغير). ولقد تم وضع القوانين أو التشريعات فى الولايات المتحدة اعتماداً على فلسفة الخطر مقابل المنفعة. وتوضح عملية تقويم الخطر أنه يمكن تنظيم الزيادة فى الخطر حتى تنخفض إلى مستويات غير معنوية، كما توضح أن هناك منافع كبيرة من إضافة الحماية للأراضي؛ فإضافة الحماية للأراضي يوفر الأموال مقارنة بالاختيارات الأخرى للتخلص منها؛ فعلى سبيل المثال، فإن وضع المادة الملوثة فى مدافن فى باطن الأرض أصبح مكلفاً ومحرمًا فى السنوات الأخيرة، ويصاحبه أخطار مثل نشوء راشح واحتمال تلوث المياه السطحية والجوفية. كما لم تعد عملية الحرق أو عملية الإغراق فى المحيط مقبولة بيئياً. وتحتوى الحماية أيضاً على عناصر غذائية ومادة عضوية يمكن أن تحسّن خواص التربة الطبيعية وخصوبة التربة. وفى النهاية، فإن القوانين أو التشريعات الوطنية يجب أن تقلل الخطر فعلاً فى المناطق التي لم يتم عمل تشريعات فيها من قبل، كما تنظم التخلص من الحماية.

١١ - ٥ الشك:

إن كلا من الجمهور والمجتمع العلمى يمكن أن ينتقد عملية تقويم الخطر والتشريعات الناتجة؛ فالجمهور يريد فى الغالب حدوداً من الأمان غير واقعية، وأحياناً، يبدو أنه ليس على وعى بالحقيقة التي تعنى أنه لا يمكن أن يوجد مجتمع خال من الخطر، وتعد الحدود المقبولة من الخطر أقل بكثير من الأخطار التي تنتج من معظم الأنشطة اليومية. وقد أدى هذا التفكير إلى مرور قانون ديلانى Delaney الذي يحرم استخدام المواد المسببة للسرطان مثل الطعام وما يضاف إليه، والمحصلة هي أن مفهوم قانون ديلانى Delaney سليم لاعيب فيه فيما عدا أنه يعطى معياراً مطلقاً للخطر لا يأخذ فى حسبانته الاحتمال، أو التكاليف، أو المنافع. علاوة على أن الجمهور أيضاً

لا يشعر بالارتياح فيما يتعلق بعوامل الأمان التي يعتبرها جائزة وغير كافية. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الزيادات في الخطر تُذكر غالباً على أنها نتائج سلبية قليلة لكل ١٠٠ ألف أو لكل مليون نسمة معرضة ، وهذا يترك انطباعاً لدى الجمهور بأن النتائج السلبية الممكن تجنبها مسموح بحدوثها بنحو متعمد.

وينتقد المجتمع العلمي القوانين أو التشريعات المكتوبة بالاعتماد على بيانات محدودة أو مشكوك في صحتها. والمشكلات السابقة ذكرها الخاصة بالاستقراء من الجرعة العالية إلى الجرعة المنخفضة ومن الحيوانات إلى الإنسان هي السبب في هذا الخلاف. ويتطلب كل من الاستقراء عمل تنبؤات بجانب اتساع نطاق البيانات، والتي هي في عمومها غير مقبولة في المنهج العلمي ، والعلماء دائماً يريدون بيانات وافرة قبل اتخاذ أي قرار.

ومن المحتمل أن يستمر نقد عملية تقويم الخطر إلى أجل غير مُسمى، وهذا النقد يساعد كلا من الجمهور والمجتمع العلمي على تفهم أن عملية الخطر ليست بحثاً عن الصدق العلمي، وإنما الهدف منها هو تقويم الخطر إلى حد يصل إلى الرغبة في عدم بخس تقويم الخطر الفعلي، بالإضافة إلى تطوير التشريعات التي تحمي البيئة من الخطر بتكاليف معقولة. وفي النهاية، تعتبر التشريعات البيئية وتضميناتها لحدود مقبولة من الخطر قراراً اجتماعياً وليست قراراً علمياً.

المراجع :

Ames, B. N., Magaw, R., and Glod, L. S., Ranking possible carcinogenic hazards, Science, 236, 271, 1987.

Chaney, R. L. and Ryan, J. A., Heavy metals and toxic organic pollutants in MSW - composts: research results on phytoavailability, bioavailability, fate, etc., In Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological, and Utilization Aspects, Holtink, H. A. J. and Keener, H. M., Ed., Renaissance Publishers, Worthington, OH, 1993.

Ryan, J. A. and Chaney, R. L., Regulation of municipal sewage sludge under the Clean Water Act Section 503: a model for exposure and risk assessment for MSW - compost, in Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological, and Utilization Aspects, Hoitink, H.A.J. and Keener, H.M., Ed., Renaissance publishers, Worthington, OH. 1993.

Slovik, P., Perception of risk, Science, 236, 280, 1987.

Slovik, P., Fischhoff, B., and Lichtenstein, S., Rating the risks, Environment, 21,14, 1979.

U.S. Environmental Protection Agency, Development of Risk Assessment Methodology for Land Application and Distribution and Marketing of Municipal Sludge, EPA/600/6-89/001, 1989.

مراجع مساعدة:

Glickman, T. S. and Gough, M., Eds., Reading on Risk, Resources for the Future, Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, 1990.

Hallenback, W. H. and Cunningham, K. M., Quantitative Risk Assessment for Environmental and Occupational Health, Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1986.

McColl, R. S., Ed., Environmental Health Risks: Assessment and Management, University of Waterloo Press, Waterloo, Ontario, Canada, 1987.

U.S Environmental Protection Agency, The Risk Assessment Guidelines of 1986, EPA/600/8-87/045, 1987.

مصطلحات الكتاب

- A -

Acidification	تحميض
Acid Rain	مطر حامضي
Accumulation	تراكم
Adsorption	امتصاص
Adverse effects	تأثيرات عكسية
Aerobes	بكتريا هوائية
Aesthetic	جمالي
Alum	الشبة
Amendments, Soil	محسنات التربة
Amphibians	برمائيات
Animal based - agriculture	زراعة معتمدة على الحيوان
Annual Plants	نباتات حولية
Apical	قمية (عليا)
Aquifers	الطبقات الصخرية المائية أى الحاملة للماء
وهي إما محبوسة أى تقع تحت طبقة غير منفذة، أو غير محبوسة: غير محدودة من أعلى ولها مستوى ماء أرضي.	

Aquitards = Aquicludes	صخور مانعة
Arthropods	المفصليات: شعبة من الحيوانات اللافقارية مفصلية الأجسام كالحشرات والعناكب
Atmospheric Deposition	الترسيب الجوى
- B -	
Badger	الْقُرير: حيوان ثديى قصير القوائم يحتفر فى الأرض حفرة يسكن فيها
Basal Oxygen	نرات الأكسجين القاعدية
Bioaccumulation	تراكم حيوى
Bioaugmentation	زيادة حيوية: وهى تزويد وسط ما (مثل المياه الجوفية) بالكائنات الدقيقة لزيادة فرص التحلل البيولوجى للمركب العضوى (الملوث)
Bioavailability	تيسر حيوى
Biodegradation	تحلل حيوى
Biome	مجتمع حيوى : وحدة اجتماعية كبيرة وواضحة
Biota	كائنات حية (نباتية وحيوانية)
Bogs	الأراضى الوحلة (السبخة)
Border strips	أحزمة خضراء على الحدود لكى تمسك الرواسب وتجمع النتروجين الذائب فى كتلتها الحيوية
Bovine leukemia	مرض اللوكيميا أو ابيضاض الدم البقرى

Buffer zones	مناطق عازلة / واقية / فاصلة
Burrowing animals	حيوانات تحفر جحوراً في الأرض لتقيم وتختبئ فيها

- C -

Canopy	ظلّة الغابة : الجزء الأعلى. المتفصن من الغابة
Capillary action	فعل الخاصية الشعرية
Carcinogens	المسرطنات : المواد التي تسبب السرطان
Casts	براز ديدان الأرض
Catalytic	تحفيزي
Cationic bridges	تكوين قناطر كاتيونية
Cementing agents	مواد لاحمة
Chat	فضلات الصخور تنتج من عمليات التعدين وتكون فيها العناصر النادرة بتركيزات عالية
Chisel plowing	الحرث باستخدام المحراث الحفار
Chronic	مزمن
Climax	الذروة
Clogging	انسداد
Compost	سماد عضوي صناعي (كمبوست)
Consensus	إجماع
Containment	إحتواء (الملوث مثلاً)
Controversial	مثير للجدل والخلاف

Consumers	كائنات مستهلكة
Consolidation	التصلب - التحجر

- D -

Dealkylation	نزع الألكيل
Decomposers	كائنات محللة
Deforestation	إزالة الغابات
Dehalogenation	نزع الهالوجين
Detoxification	إزالة السمية
Detritus	فتات الصخور
Denitrification	عملية عكس التآزت النتروجين
Dermal	جلدى
Desorption	انطلاق
Diagnostic Horizons	أفاق تشخيصية
Dielectric Constant	ثابت العازل الكهربائى
Diffusion	انتشار
Disinfectants	مطهرات
Disking	الحرث بالمحراث القرصى
Dumping, ocean	الإغراق فى المحيط

- E -

Earthy aroma	رائحة أو عبير الأراضى : ينتج عن النواتج المتطايرة لنشاط الأكتينومييسيتات
---------------------	--

Earthworms	ديدان الأرض
Ebb- and - flow	الجزر والمد
Ecocentric	مهتم بالبيئة
Ecosystem	نظام بيئي
Ecology	علم البيئة
Ectone	منطقة انتقالية
Edible	صالح للأكل
Egocentric	فرد أناني أو أنوي: يهتم بنفسه فقط لا بالمجتمع
Electrocution	الإعدام بالكهرباء
Eluviation	عملية الفسيل
Encapsulate	يغلف
Environment	البيئة
Environmental Appealing Process	عملية إغاثة بيئية
Epipedon	أفق سطحي
Eutrophication	ظاهرة التشبع الغذائي
Excavation	حفرة
Excretion	إفراز - إخراج
Expanding	متمدد
Exudates,root	إفرازات الجذور

- F -

Facultative Anaerobes	بكتريا اختيارية لاهوائية
------------------------------	--------------------------

Fallowing	حراث الأرض وتركها للراحة بدون زراعة
Feedlots	مزارع الأبقار
Fog	ضباب
Food byproducts	النواتج الثانوية للغذاء
Food chain	السلسلة الغذائية
Foot and mouth disease	مرض الحمى القلاعية فى الحيوانات
Forage	علف الماشية
Forested	المحرجة أى المزروعة غابات
Fossil fuels	الوقود الحفرى
Fumigation	عملية التدخين أو التبخير (عملية يتم بها تدخين أو تبخير الأرض أى تطهيرها بتعريضها للدخان أو البخار أو الغاز)

- G -

Geohydrology	علم الجيوهيدرواوجى: علم دراسة المياه فى النظم الجيواوجية مثل بيئة الطبقات الصخرية المائية والمياه الجوفية
Genesis , Soil	نشأة وتكوين الأراضى
Genetically engineered	المهندسة وراثياً
Glaciers	الثلجات
Gopher	سلحفاة
Grass clippings	نواتج قص الحشائش

Grassland	مرعى
Grassed waterways	ممرات مائية مزروعة بالأعشاب
Green hous effect	تأثير الصعوبة :تأثير الاحتباس الحرارى أو الدفينة

- H -

H ⁺ - dissolution	انفصال أيونات الهيدروجين
Herbivorous fish	أسماك عشبية (تتغذى على الأعشاب) مثل الهامور
Heterotrophs	كائنات عضوية التغذية
Histic epipedon	أفق سطحى هيستيك أى نسيجى
Host	مضيف
Humic like substances	مواد شبيهة بالدبال
Hydric Soil	أرض وافرة الرطوبة – مادة التربة فيها غير متفذة للماء بصفة دائمة
Hydraulic conductivity	التوصيل الهيدرولى
Hydraulic gradient	التدرج الهيدرولى
Hydrolysis	التحلل المائى
Hydrophic	كاره أو غير محب للماء
Hydroxylation	تكوين هيدروكسيلات
Hyperaccumulators	نباتات مجمعة للعناصر بإفراط

- I -

Igneous rocks	صخور نارية
Illuviation	ترسيب أو إضافة

Immisible	غير قابل للامتزاج (بالماء مثلا)
Immobilization	التثبيت في صورة عضوية
Impairment	إفساد - إتلاف
Incineration	الحرق
Indefinitely	إلى أجل غير مسمى
Infestakion, weed	انتشار أوغزو الأعشاب الضارة
Infiltration	رشح
Infrared radiation	الأشعة تحت الحمراء
Ingenuity and Innovation	الإبداع و التجديد
Inhalation	الاستنشاق : الشهيق
Inoculation	التلقيح
Intensity factor	عامل السعة : تركيز العنصر في المحلول الأرضي
In - Situ methods	طرق التخلص من الملوثات في نفس مكان التلوث
Invation	اجتياح :غزو (بكتيري مثلا)
Interlayer Spaces	الفراغات الموجودة بين الطبقات
Intermittent	جرعات صغيرة متقطعة
Ion exchange	تبادل أيوني
Ionization	تحلل أيوني
Iron chlorosis	الاصفرار الناشئ عن نقص الحديد
Isolation	عزل
Isomorphic substitution	إحلال متماثل
- L -	
Latent heat	الحرارة الكامنة
Latitude	خط العرض

Leaf lesions	آفات الأوراق
Leaf litter	مخلفات أوراق النباتات
Leaf rob, potato	مرض تجعد الأوراق للبطاطس
Legand exchange	تبادل روابط شبه تساهمية
Leguminous plants	نباتات بقولية
Lichens	الأشنة : تجمعات تكافلية من طحلب وفطر وهي مستعمرات الصخر الأملس ومادة أصل التربة
Limnology	علم المياه العذبة

-M-

Management	إدارة : خدمة
Mandatory	إلزامي : إجباري
Master Horizon	أفق رئيسي
Metabolism	الأيض
Meteorology	علم دراسة المناخ والطقس
Mildews	العفن الفطري
Millet	نبات الدخن
Millipeds	الديدان الألفية الأرجل
Mineralization	معدنة
Mining	تعدين
Moldboard	محراث قلاب مروي
Molds	عفن الخبز

Mortality	حالات الوفاة
Mounds	مساكن النمل
Mushroom	عيش الغراب
Mycordial infarction	الذبحة الصدرية

- N -

Necrosis	موت الأوراق بسبب مرض فطري
Nematodes	الديدان
Nodules	عقد بكتيرية
No tillage agriculture	زراعة بدون حرث
Non point in origin	غير معروف مصدره

- O -

Oceanography	علم المحيطات
Occluded	مرتبط
Octahedral , Al	أوكتاهيدرا الألومنيوم : ثمانى الجوانب يحتوى على الألومنيوم فى تنسيق سداسي مع أكسجين و/ أو هيدروكسيل
Outbreak , pest	تفشي وانتشار الآفات أو المرض
Overgrazing	الرعى الجائر
Oxidation	تأكسد
Oxyanions	الأيونات الأكسجينية مثل النترات والكبريتات

- P -

Paper mill sludge	حمأة مصانع الورق
Parent material	مادة الأصل
Partition coefficient	معامل التوزيع (بين الأوكتانول والماء مثلاً)
Particle density	الكثافة الحقيقية
Particulate matter	مواد عالقة
Ped	وحدة بنائية للأرض
Pelletizing	تصبيغ - تكوير
Percolation	رشح
Permeability	نفذية
Permanent charge	شحنة دائمة
Pesticides , Systemic	مبيدات جهازية
Pesticides , contact	مبيدات تلامس
pH- dependant charges	شحنات تعتمد على رقم الحموضة
Photooxidation	أكسدة ضوئية
Photodissolution	تحلل ضوئي
Photosynthesis	التمثيل الضوئي
Phytodegradation	تحلل الملوثات العضوية بواسطة النباتات
Phytoextraction	الاستخلاص بواسطة النباتات

Phytoimmobilization	تثبيت الملوثات بواسطة النباتات
Phytoplankton	نباتات مغمورة أو معلقة في المياه (لا هي طافية ولا هي راسية)
Pica children	الأطفال المعوقين المرضى الذين لديهم رغبة في أكل مواد غير صالحة للاستهلاك الأدمى مثل مواد التربة أو مواد الرسم
Potential, total water	الجهد المائى الكلى
Potential, matric	جهد التسيج
Potential, pressure	جهد الضغط
Potential, gravi-	جهد الجاذبية الأرضية
Potential, solute	جهد المذاب
Potential, osmotic	الجهد الإسموزى
Prarie dogs	كلاب البرارى
Precipitation	ترسيب
Precursor compound	مركب تمهيدى لمركب آخر (بشير)

- R -

Readily	بسرعة - بسهولة
Recrystallization	إعادة التبلور
Reduced tillage	الحراث القليل
Remediation	علاج
Reduction	اختزال

Release	انطلاق
Relief	منسوب - طبوغرافيا
Reproduction	تكاثر
Rhizosphere	الريزوسفير : المنطقة التي حول الجذور وتتأثر بوجود الجذور
Runoff, surface	مياه الأمطار السارية على السطح (وقد تشمل المياه الناتجة عن نوبان الجليد)
- S -	
Sagebrush	أدغال: شجيرات كثيفة ملتفة
Salinity and alkalinity	الحموضة والقلوية
Sanitary landfills	مدافن النفايات الصحية
Saprophytes	مُترَمِّمة
Scientific method	المنهج العلمي
Scavenge	تحفظ على أوراقها وسيقانها
Secondary minerals	معادن ثانوية
Septic tanks	المخلفات الأدمية
Sesquioxides	الأكاسيد السداسية: أكاسيد الحديد والأكومنيوم
Sewage sludge	حمأة المجارى
Sewage water	مياه المجارى
Silviculture	زراعة الغابات والعناية بها
Slurrying	تكوين ملاط رقيق القوام (طين سائل)
Slender branched filaments	خيوط رفيعة متفرعة

Smuts	السُّنَّاج : فطريات خيطية عديدة الخلايا
Snowmelt	نوبان الجليد
Solidification	تصلب - تحجر
Soil solution	المحلول الأرضي
Squirrels , ground	السنجاب
Stable aggregates	تجمعات أرضية ثابتة
Stream	جداول : نهر صغير
Subsurface diagnostic horizons	أفاق تشخيصية تحت سطحية
Subordinate designations	دلالات ثانوية
Susceptile	حساس
Symbiotic	تكافلي

-T-

Tailings	نفايات خامات المعادن
Target organisms	كائنات مستهدفة
Temperate	معتدل
Tension , surface	التوتر السطحي
Termites	النمل الأبيض
Terracing	الزراعة على مصاطب
Tetrahedra, silicon	تتراهيدرا السليكون : رباعي السطوح يتكون من سليكون في تنسيق رباعي مع الأكسجين
Texture , soil	قوام التربة
Toxin	سموم
Trace gases	الغازات النادرة

Transitional horizons آفاق انتقالية
وهي التي تظهر خواص مشابهة للأفاق التي فوقها أو التي تحتها.

Transformations تحولات

Translocation انتقال

Transition layer الطبقة الفاصلة

Transport انتقال

Tubers برنات

- U -

Ultraviolet الأشعة فوق البنفسجية

Unconsolidated مفككة

Unicellular وحيد الخلية

Uprooting استئصال

Urbanization تحضر

- V -

Vadose lager منطقة قابوز : منطقة غير مشبعة

Vegetation كساء نباتي: كساء خضري

Vertisols أراضي طينية ثقيلة

Viable قابل للحياة أو النمو

Void space الفراغات البينية : المسام الكبيرة

+ المسام الصغيرة

Volatilization تطاير

Volnerability

قابلية

-W-

Water content

المحتوى الرطوبي : نسبة الرطوبة

Water potential

الجهد المائي

Water table

مستوى الماء الأرضي

Weathering

تجوية

Weeds

أعشاب ضارة

Wetlands

الأراضي الرطبة :البرك

Worms

ديدان

-Y-

Yard wastes

مخلفات الساحة : أوراق الأشجار المتساقطة

+ نواتج قص الحشائش

Yeast

خميرة

مختصرات الكتاب

BMP _s	Best Management Practices	أحسن ممارسات الإدارة لغرض صيانة الأراضي
BOD	Biological Oxygen Demand	الاحتياج الحيوي للأكسجين
CEC	Cation Exchange Capacity	السعة التبادلية الكاتيونية
CFCs	Chloro - fluoro - carbons	غازات الكلوروفلوروكربون
COD	Chemical Oxygen Demand	الاحتياج الكيميائي للأكسجين
COS	Carbonyl Sulfide	غاز كبريتيد الكربونيل
DAP	Di - Ammonium Phosphate	فوسفات ثنائي الأمونيوم
DDE	Dishlordipheny dichloro ethylene	داي كلورو دايفينيل داي كلورو إيثيلين
DNA	Deoxyribonucleic acid	حامض دي أوكسنى - ريبونوكليك
DOC	Dissolved Organic Carbon	الكربون العضوي الذائب
DRIS	Diagnosis and Recommendation Integrated System	النظام المتكامل للتشخيص والتوصيات
DWEL	Drinking Water Equivalent level	الحد المكافئ لمياه الشرب
EDB	Ethyene dibromide	إثيلين داي بروميد
EON	Economically Optimun Nitrogen	المعدلات الاقتصادية للنيتروجين
EPA	U.S. Envirnomental Protection Agency	وكالة حماية البيئة الأمريكية

EPIC	Erosion - productivity - Impact - Calculator.	نموذج : انجراف - إنتاجية - تأثير - حاسب
EPC₀	EquilibriumP Concentrtion at zero adsorption	تركيز الفوسفات المتزن عند ادمصاص صفر
ESP	Exchangeable Sodium Percentage.	النسبة المئوية للصوديوم المتبادل
FIFRA	The federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act	القانون الفيدرالى لمبيدات الحشرات والفطريات والقوارض
GCM_s	Global Circulation Models	نماذج محاكاة المناخ
GR	Gypsum Requirement	الاحتياجات الجبسية
HA	Health Advisry level	المستوى الصحى المنصوح به من وكالة حماية البيئة الأمريكية
HERP	Human Exposure :Rodent potercy	نسبة تعرض الإنسان إلى قوة القارض
HEI	Highly Exposed Individual	الفرد المعرض للتلوث بدرجة عالية
IM	Initial Mass isotherm	معادلة الكتلة الأولية
IPM	Integrated Pest Management	الإدارة المتكاملة للآفات
LLC	Land Limiting Constituents	المكونات المحددة لاستخدام المخلفات فى الأراضى

MNP	Mono - Ammonium Phosphate	فوسفات أحادي الأمونيوم
MCLG	Maximum Contaminant level Goals	أهداف الحد الأقصى للملوث
MRT	Mean Residence Time	متوسط زمن البقاء
NIMBY	Not In My Back Yard	- بعيداً عني
NOAEL	No Observable Adverse Effect Level	حد التأثير العكسي غير الملاحظ
NRE	N - Recovery Efficiency	كفاءة امتصاص النتروجين
NUE	Crop N Use Efficiency	كفاءة استخدام المحصول للنتروجين
OC	Organic Carbon	الكربون العضوي
PAN	Potentially Available N	كمية النتروجين الميسر
PSNT	Pre - Sidedress Soil Nitrate Test	إختبار قبل الزراعة للنترات في التربة.
PCBs	Poly Chlorinated biphenyls	مركبات الباى فينيل عديدة الكلوريد
QUATS	Quaternary Ammonium Cations	كاتيونات الأمونيوم الرباعية
RCRA	Resource Conservation and Recovery Act	هيئة اكتشاف وصيانة الموارد

RFD	Reference Dose	الجرعة المرجعية
RNA	Ribonucleic acid	حمض ريبونوكليك
RP	Reference Application, kg / ha.	معدل الإضافة المرجى ، كجم / هكتار
RSP	Reserve Soil Pool	احتياطي مستودع التربة من العنصر الميسر للنبات.
T_{1/2}	Halflife	نصف فترة الحياة
TCE	Trichloroethylene	مبيدات إيثيلين ثلاثي الكلور
TCLP	Toxicity Characteristic Leaching Procedure.	تخفيض خاصية السمية للعنصر النادر باستعمال طريقة الغسيل
TD₅₀	Tumors Daily Dose	الجرعة اليومية من المادة التي تحدث ورمًا خبيثًا في ٥٠٪ من حيوانات المعمل عند نهاية عمر معياري .
UAN	Urea - Ammonium - Nitrate	محلول (يوريا - أمونيوم - نترات).
YE	Yield Efficiency	كفاءة المحصول

ملحقات

جدول (١) العناصر، ورموزها، وأرقامها الذرية، وأوزانها الذرية على أساس أن الوزن الذري النسبي للكربون - ١٢ = ١٢.

الوزن الذري	الرقم الذري	الرمز	اسم العنصر
٢٢٧,٠٢٨	٨٩	Ac	أكتينيوم Actinium
٢٦,٩٨١٥	١٣	Al	ألومنيوم Aluminum
(٢٤٣)*	٩٥	Am	أميريكيوم Americium
١٢١,٧٥٠	٥١	Sb	أنتيموني Antimony
٣٩,٩٤٨	١٨	Ar	أرجون Argon
٧٤,٩٢١٦	٣٣	As	زرنيخ Arsenic
(٢١٠)	٨٥	At	أستاتين Astatine
١٣٧,٣٣٠	٥٦	Ba	باريوم Barium
(٢٤٧)	٩٧	Bk	بركيليوم Berkelium
٩,٠١٢٢	٤	Be	بريليوم Beryllium
٢٠٨,٩٨٠٤	٨٣	Bi	بسموث Bismuth
١٠,٨١٠	٥	B	بورون Boron
٧٩,٩٠٤	٣٥	Br	برومين Bromine
١١٢,٤١٠	٤٨	Cd	كادميوم Cadmium
٤٠,٠٨٠	٢٠	Ca	كالسيوم Calcium
(٢٥١)	٩٨	Cf	كاليفورنيوم Californium
١٢,٠١١	٦	C	كربون Carbon
١٤٠,١٢٠	٥٨	Ce	سيريوم Cerium
١٣٢,٩٠٥٤	٥٥	Cs	سيزيوم Cesium
٣٥,٤٥٣	١٧	Cl	كلورين Chlorine
٥١,٩٩٦	٢٤	Cr	كروميوم Chromium
٥٨,٩٣٣٢	٢٧	Co	كوبالت Cobalt

٦٣,٥٤٦	٢٩	Cu	Copper	نحاس
(٢٤٧)	٩٦	Cm	Curium	کوریم
١٦٢,٥٠	٦٦	Dy	Dysprosium	دیسپروسیم
(٢٥٤)	٩٩	Es	Einsteinium	اینشتینیوم
١٦٧,٢٦	٦٨	Er	Erbium	اربیوم
١٥١,٩٦	٦٣	Eu	Europium	اوروپیم
(٢٥٧)	١٠٠	Fm	Fermium	فیرمیوم
١٨,٩٩٨٤	٩	F	Fluorine	فلورین
(٢٢٣)	٨٧	Fr	Francium	فرانسیوم
١٥٧,٢٥	٦٤	Gd	Gadolinium	گادولینیوم
٦٩,٧٢	٣١	Ga	Gallium	گالیوم
٧٢,٥٩	٣٢	Ge	Germanium	جرمانیوم
١٩٦,٩٦٦٥	٧٩	Au	Gold	ذهب
١٧٨,٤٩	٧٢	Hf	Hafnium	هافنیوم
٤,٠٠٢٦	٢	He	Helium	هلیوم
١٦٤,٩٣٠٤	٦٧	Ho	Holmium	هولیم
١,٠٠٧٩	١	H	Hydrogen	هیدروجن
١١٤,٨٢	٤٩	In	Indium	اندیم
١٢٦,٩٠٤٥	٥٣	I	Iodine	ایودین
١٩٢,٢٢	٧٧	Ir	Iridium	ایریدیوم
٥٥,٨٤٧	٢٦	Fe	Iron	حدید
٦٣,٨٠	٣٦	Kr	Krypton	کریپتون
١٣٨,٩٠٥٥	٥٧	La	Lanthanum	لانتانیم
(٢٦٠)	١٠٣	Lr	Lawrencium	لورینسیوم
٢٠٧,٢	٨٢	Pb	Lead	رصاص
٦,٩٤١	٣	Li	Lithium	لیتیوم
٠,٠٠٢+١٧٤,٩٦٧	٧١	Lu	Lutetium	لوتیتیوم
٢٤,٣٠٥	١٢	Mg	Magnesium	مگنسیوم
٥٤,٩٣٨٠	٢٥	Mn	Manganese	منجنیز

(٢٥٧)	١٠١	Md	Mendelevium	مندلیفیم
٢٠٠٫٥٩	٨٠	Hg	Mercury	زئبق
٩٥٫٩٤	٤٢	Mo	Molybdenum	مولیبدنم
١٤٤٫٢٤	٦٠	Nd	Neodymium	نیودیمیم
٢٠٫١٧٩	١٠	Ne	Neon	نیون
٢٣٧٫٠٤٨٢	٩٣	Np	Neptunium	نیپتونیم
٥٨٫٧٠	٢٨	Ni	Nickel	نیکل
٩٢٫٩٠٦٤	٤١	Nb	Niobium	نیوبیم
١٤٫٠٠٦٧	٧	N	Nitrogen	نیتروژن
(٢٥٩)	١٠٢	No	Nobelium	نوبیلیوم
١٠٫٩٢	٧٦	Os	Osmium	اوسمیم
١٥٫٩٩٩٤	٨	O	Oxygen	اکسیجن
١٠٫٦٤	٤٦	Pd	Palladium	پالادیوم
٣٠٫٩٧٣٧٦	١٥	P	Phosphorus	فسفور
١٩٥٫٠٩	٧٨	Pt	Platinum	پلاتینوم
(٢٤٤)	٩٤	Pu	Plutonium	پلوتونیم
(٢٠٩)	٨٤	Po	Polonium	پولونیوم
٣٩٫٠٩٨٣	١٩	K	Potassium	پوتاسیم
١٤٠٫٩٠٧٧	٥٩	Pr	Praseodymium	پراسیودیمیم
(١٤٥)	٦١	Pm	Promethium	پرومیتیم
٢٣١٫٠٣٥٩	٩١	Pa	Protactinium	پروتاکتینیم
٢٢٦٫٠٢٥٤	٨٨	Ra	Radium	رادیوم
(٢٢٢)	٨٦	Rn	Radon	رادون
١٨٦٫٢	٧٥	Re	Rhenium	رینیوم
١٠٢٫٩٠٥٥	٤٥	Rh	Rhodium	رودیوم
٨٥٫٤٦٧٨	٢٧	Rb	Rubidium	روبیڈیم
١٠١٫٠٧	٤٤	Ru	Ruthenium	روٹینیوم
١٥٠٫٤	٦٢	Sm	Samarium	ساماریوم
٤٤٫٩٥٥٩	٢١	Sc	Scandium	سکاندیوم

٧٨,٩٦	٣٤	Sc	Selenium	سيلينيوم
٢٨,٠٨٥٥	١٤	Si	Silicon	سيليكون
١٠٧,٨٦٨	٤٧	Ag	Silver	فضة
٢٢,٩٨٩٨	١١	Na	Sodium	صوديوم
٨٧,٦٢	٣٨	Sr	Strontium	سترنشيوم
٣٢,٠٦	١٦	S	Sulfur	كبريت
١٨٠,٩٤٧٩	٧٣	Ta	Tantalum	تانتالوم
(٩٧)	٤٣	Tc	Technetium	تتشنيطيوم
١٢٧,٦٠	٥٢	Te	Tellurium	تيلوريوم
١٥٨,٩٢٥٤	٦٥	Tb	Terbium	تيريبيوم
٢٠٤,٣٧	٨١	Tl	Thallium	ثاليوم
٢٣٢,٠٣٨١	٩٠	Th	Thorium	ثوريوم
١٦٨,٩٣٤٢	٦٩	Tm	Thulium	ثوليوم
١١٨,٦٩	٥٠	Sn	Tin	قصدير
٤٧,٩٠	٢٢	Ti	Titanium	تيتانيوم
١٨٣,٨٥	٧٤	W	Tungsten	تنجستون
٢٣٨,٠٢٩	٩٢	U	Uranium	يورانيوم
٥٠,٩٤١٥	٢٣	V	Vanadium	فاناديوم
١٣١,٣٠	٥٤	Xe	Xenon	زينون
١٧٣,٠٤	٧٠	Yb	Ytterbium	يتيريبيوم
٨٨,٩٠٥٩	٣٩	Y	Yttrium	يتيريوم
٦٥,٣٨	٣٠	Zn	Zinc	زنك
٩١,٢٢	٤٠	Zr	Zirconium	زيركونيوم

* صناعي أو يوجد في الطبيعة بكميات نادرة جدا.

جدول (٢) عوامل التحويل للوحدات القياسية والوحدات غير القياسية.

لتحويل عمود ١ إلى عمود ٢، اضرب في	عمود ١ وحدات قياسية SI	عمود ٢ وحدات غير قياسية non - SI	لتحويل عمود ٢ إلى عمود ١، اضرب في
طول			
٠.٦٢١	كيلومتر، كم (10^3 م)	ميل	١.٦٠٩
١.٠٩٤	متر، م	ياردة	٠.٩١٤
٣.٢٨	متر، م	قدم	٠.٣٠٤
٠.١	ميكرومتر (10^{-6} م)	ميكرون، μ	٠.١
١.٠	نانومتر (10^{-9} م)	أنجستروم \AA	٠.١
مساحة			
٢.٤٧	هكتار	أيكـر (فدان)	٠.٤٠٥
٢٤٧	كيلومتر مربع (كم^2)	أيكـر (فدان)	2.47×10^{-4}
2.47×10^{-4}	متر مربع، م^2	أيكـر (فدان)	2.47×10^{-4}
حجم			
٢٥٣	متر مكعب، م^3	قدم مكعب	2.83×10^{-2}
2.84×10^{-2}	لتر (10^{-3} م 3)	بوشل	٢٥.٢٤
٠.٢٦٥	لتر	جالون	٣.٧٨
2.05×10^{-2}	لتر	قدم مكعب	٢٨.٣

ك ت ل ة			
٤٥٤	رطل	جرام، جم (١٠ ^٢ كجم)	٢٢×١٠^{-٢}
٠.٤٥٤	رطل	كيلو جرام، كجم	٢٢٠٥
٩٠٧	طن (٢٠٠٠ رطل)	كيلو جرام، كجم	١٠×١٠^{-٢}
٠.٩٠٧	طن (أمريكي)	ميغا جرام (طن)، Mg	١٠٢
٩٠٧	طن (أمريكي)	طن	١٠٢
إنتاج محصول، ومعدل إنتاج			
١٠١٢	رطل / أكر	كيلو جرام / هكتار	٠.٨٩٣
١٢٨٧	رطل / بوشل	كجم / م ^٢	٧٧×١٠^{-٢}
١٠×١٠^{-٢}	رطل / أكر	طن / هكتار	٨٩٣
١٠×١٠^{-٢}	رطل / أكر	ميغا جرام / هكتار	٨٩٣
٢٢٤	طن / أكر	ميغا جرام / هكتار	٠.٤٤٦
سطح نوعي			
٠.١	سم ^٢ / جم	م ^٢ / كجم	١٠
٠.٠٠١	مم ^٢ / جم	م ^٢ / كجم	١٠٠٠
فط			
٠.١٠١	ضغط جوي	ميغا باسكال، Pa $١٠^{-٦}$	٩٩
٠.١	بار	ميغا باسكال	١٠
١٠	جم / سم ^٢	ميغا باسكال / م ^٢	١٠
درجة حرارة			
٢٧٣ + م	المئوية، °م	المطلقة: K	K - ٢٧٣
$\frac{٥}{٩} (٢٢ - \text{ف})$	فهرنهايت، °ف	المئوية، °م	$\frac{٩}{٥} م + ٢٢$

طاقة، شغل، كمية الحرارة			
10×10^5	وحدة حرارية إنجليزية	جول ، J	10×9.5
419	كالورى	جول	0.239
10^{-7}	إرج	جول	10^{-7}
136	رطل - قدم	جول	0.735
10^{-5}	داين	نيوتن، N	10^{-5}
698	كالورى/سم ² دقيقة	وات (W) / م ²	10×1.43
نقطة ، أبيض			
273	جم/ديسم ² ساعة	ملليجم / م ² ثانية	10×2.7
180	ميكرومول ماء/سم ² ثانية	ملليجم ماء / م ² ثانية	10×5.6
10^{-4}	ملليجم / سم ² ثانية	ملليجم / م ² ثانية	10^{-4}
زاوية مستقيمة			
10×10^5	درجة ، °	قطرية ، rad	0.73
توصيل كهربى، كهربية، مغناطيسية			
0.1	مليموه / سم	سيمن (S) / م	1.0
10^{-4}	جاوس ، G	تسلا ، T	10^{-4}
قياس ماء			
1.28	بوصة - أيكس	م ²	10×9.73
1.19	قدم ² / ثانية	م ³ / ساعة	10×9.11
0.227	جالون أمريكى/دقيقة	م ³ / ساعة	4.4
0.123	قدم - أيكس	م - هكتار	1.1

تركيب - زات			
١	مليمكافى / ١٠٠ جم	سنتيمول / Cmol كجم (سعة تبادل أيونى)	١
١٠	%	جم / كجم	٠.١
١	أجزاء فى المليون ppm	مجم / كجم	١
نشاط إشعاعى			
$10^{-10} \times 37$	كيورى، Ci	بيكريل، Bq	$10^{-10} \times 37$
٢٧	بيكوكيورى pCi / جم	بيكريل / كجم	$10^{-27} \times 37$
٠.٠١	راد، rd	Gray, Gy (جرعة ممتصة)	١٠٠
٠.٠١	rem (رونجن - مكافى - إنسان)	Sievert, Sv (جرعة مكافئة)	١٠٠
تغذية نباتات			
٠.٤٢٧	P ₂ O ₅	P	٢٢٩
٠.٨٣٠	K ₂ O	K	١٢
٠.٧١٥	Ca O	Ca	١٣٩
٠.٦٠٢	Mg O	Mg	١٦٦

(American Society of Agronomy, Madison, WI.)

جدول (٣) المجلات والدوريات المرتبطة بعلوم البيئة.

Advances in Soil Science.
Agricultural Chemistry.
Agrochimica.
Agronomy Journal.
Ambio.
American Society of Agronomy Abstracts.
Analyst.
Analytical Chimica Acta.
Analytical Letters.
Analytical Chemistry.
Atmospheric Environment.
Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science.
Canadian Journal of Chemistry.
Canadian Journal of Soil Science.
Communications in Soil Science and Plant Analysis.
CRC Critical Review of Environmental Contamination
Crop Science.
Environmental Geology and Water Science.
Environmental Letters.
Environmental Research.
Environmental Science and Technology.
Environmental Toxicology and Chemistry.
Estuarine, Marine and Coastal Shelf Sciences.
Geochimica et Cosmochimica Acta.
Geoderma.
Geological Society of America Bulletin.
Journal of Chemical Ecology.
Journal of Chemical Education.
Journal of Environmental Quality.
Journal of Environmental Health.
Journal of Atmospheric Chemistry.

Journal of Environmental Science and Health.
Journal of Environmental Engineering (Division of ASCE).
Journal of the Geological Society (London).
Journal of the Air Pollution Control Association.
Journal of the Association of Official Analytical Chemists.
Journal of Environmental Science Technology.
Journal of Great Lakes Research.
Journal of the Water Pollution Control Federation.
Journal of Environmental Toxicology and Contamination.
Journal of Marine Research.
Journal of the American Water Works Association.
Journal of the Indian Chemical Society.
Journal of Soil & Water Conservation.
Limnology and Oceanography.
Marine Chemistry.
Marine Environmental Chemistry.
Nature.
Science
Soil Science.
Soil Science Society of America Proceedings.
Talanta.
Water, Air, and Soil Pollution.
Water Research.
Water, Science and Technology.
Weed Science Journal.

المؤلفون والمترجم فى سطور

جاري م . بيرزنسكي



حاليا، أستاذ كيمياء الأراضى والكيمياء البيئية
بقسم الأجرانومي، جامعة كنساس، حصل على درجة
البكالوريوس فى علوم الأراضى والمحاصيل (١٩٨٢)،
وعلى درجة الماجستير فى كيمياء التربة البيئية (١٩٨٥)

من قسم علوم الأراضى والمحاصيل فى جامعة ميتشجان ، وحصل على الدكتوراة فى
كيمياء الأراضى (١٩٨٩) من قسم الأجرانومي، جامعة أوهايو.

وتهتم أبحاث د. بيرزنسكي بكيمياء العناصر النادرة، وعلاج الأراضى الملوثة
بالعناصر النادرة، والتيسر الحيوى للفوسفور، تغذية المحاصيل المختلفة بالفوسفور
والكبريت، والتخلص من المخلفات عن طريق إضافتها للأراضى، وكفاءة استخدام
السماذ النتروجينى. وهو عضو عامل فى اللجنة القومية لصيانة الأراضى، وتقع على
عاتقها مسؤولية إعداد دليل لتقويم حالة الأراضى المختلفة ، وكذلك تقويم ممارسات
الإدارة الخاصة بمواجهة الأخطار المحتملة الناتجة عن حركة الفوسفور إلى أجسام
المياه ، كما يقوم بتدريس مقرر «الجودة البيئية» ، والذي كانت خلاصته نقطة البداية
لهذا الكتاب، وكذلك يقوم بتدريس مقرر «مصادر العناصر الغذائية للنبات» ، وهو أيضا
عضو فى كلية الموارد الطبيعية والعلوم البيئية بجامعة كنساس.

ج . توماس سمس



أستاذ الأراضى بقسم علوم الأراضى والنبات،
جامعة ديلاوير. حصل على درجة البكالوريوس من قسم
الأجرونومى (١٩٧٦) وعلى درجة الماجستير فى خصوبة
الأراضى (١٩٧٩) من قسم الأجرونومى بجامعة جورجيا.
وحصل على درجة الدكتوراة فى كيمياء الأراضى
(١٩٨٢) من قسم علوم الأراضى والمحاصيل بجامعة ميتشجان.

د. سمس يقوم بتدريس محاضرات فى مجالات الإدارة البيئية للأراضى،
وخصوبة الأراضى، وتغذية النبات (لطلبة مرحلة البكالوريوس وطلبة الدراسات العليا).
ويقوم بإجراء برنامج بحوث موجه ناحية القضايا البيئية التى تواجه الزراعة فى
الولايات الشمالية الشرقية، وتركز أبحاثه على تطوير برامج إدارة النتروجين
والفوسفور التى تسعى إلى تحقيق أعظم محصول وتقلل فى نفس الوقت - إلى أدنى
حد - التأثيرات البيئية للأسمدة التجارية والأسمدة الحيوانية على المياه السطحية
والجوفية، وله بحوث خاصة باستخدام كمبوست الحماة، ورماد الفحم، والنواتج الثانوية
الصناعية الأخرى - كمحسنات للأراضى. ومرة أخرى، تهدف أبحاثه إلى تطوير
برامج سليمة للإدارة البيئية لهذه المواد، اعتماداً على تفاعلاتها فى الأراضى، وعلى
تأثيراتها على نمو النبات وجودة المياه. وأثناء عمله مديراً لبرنامج اختبارات التربة فى
جامعة ديلاوير، قام بتطوير وتقويم اختبارات التربة لتلأنم الأغراض البيئية مثل:
اختبار نترات التربة، واختبارات التربة البيئية فى الفوسفور، ونظم تصنيف الحقول فى
الفوسفور، وإستراتيجيات اختبارات التربة فى العناصر الثقيلة فى الأراضى المحسنة
بالمخلفات.

جورج ف. فانس



حاليا، أستاذ علوم الأراضي والبيئة في قسم الموارد المتجددة بجامعة Wyoming. حصل على درجة البكالوريوس في علوم الأراضي والمحاصيل (١٩٨١) وعلى درجة الماجستير في البيولوجي وكيمياء المادة العضوية في الأراضي (١٩٨٥) من قسم علوم الأراضي والمحاصيل بجامعة ميتشجان. وحصل على درجة الدكتوراة في كيمياء الأراضي (١٩٩٠) من قسم الأجرانومي بجامعة Illinois، وعُين باحثا بقسم الغابات بنفس الجامعة.

وتهتم أبحاث د. فانس بكيمياء السلينيوم في النظم البيئية لأراضي المناجم وأراضي السلاسل الجبلية، وتهتم أيضا بتلوث المياه الجوفية بالملوثات غير العضوية والعضوية، وكذلك بتدوير العناصر الغذائية في الغابات مع التركيز على الصور العضوية للعناصر الغذائية. وتشمل أيضا أبحاث د. فانس كيمياء مكونات المخلفات في نظام التربة - النبات، وكذلك حركة المبيدات ومصيرها في البيئات الجافة ونصف الجافة، ويقوم أيضا بتدريس العديد من المقررات في جامعة Wyoming مثل: «الأراضي والجودة البيئية»، «كيمياء بيئة التربة»، «طرق التحليل في أبحاث النظم البيئية»، «كيمياء المادة العضوية في التربة». وقد ساعد بكفاءة في تطوير المنهج الدراسي لعلم جديد في البيئة الزراعية لطلبة مرحلة البكالوريوس في قسم علوم النبات، والأراضي، والحشرات، وكذلك في إنجاز برنامج اختياري الجامعة الموسع عن الموارد الطبيعية والبيئية في جامعة Wyoming. وفي نفس الوقت، تم اختيار د. فانس كأحد المدرسين المتميزين في جامعة Illinois (١٩٨٦) لتدريسه مقرر «أساسيات الأراضي» للطلبة.

محمد السيد الننه



حالياً، أستاذ كيمياء الأراضى، الرئيس السابق لقسم الأراضى كلية الزراعة جامعة عين شمس. حصل على بكالوريوس العلوم الزراعية تخصص أراضى (١٩٦٣)، وعلى الماجستير (١٩٦٧)، والدكتوراه (١٩٧٢) فى كيمياء الأراضى من كلية الزراعة جامعة عين شمس.

أجرى الدراسات العلمية للدكتوراه بجامعة بارى وجامعة بيزا بإيطاليا (٦٨ - ١٩٧١). وحصل على دبلوم أجرونومى (١٩٦٩) من المركز الدولى لدراسات حوض البحر الأبيض المتوسط بإيطاليا - تدرج بسلك هيئة التدريس بقسم الأراضى بكلية الزراعة جامعة عين شمس من معيد (١٩٦٣) حتى عين أستاذاً (١٩٨٣) ثم رئيساً للقسم (١٩٩٩ - ٢٠٠١). حصل على جائزة الدولة التشجيعية ووسام العلوم والفنون من الطبقة الأولى (١٩٨٢). عمل أستاذاً زائراً بالجامعة الملكية للطب البيطرى والزراعة بكوبنهاجن بالدانمارك (١٩٧٥ - ١٩٧٦)، وبألمانيا الغربية ١٩٧٦. كما عمل مستشاراً بقسم الأراضى والمياه بهيئة الطاقة الذرية المصرية، وأنشأ وحدات متخصصة، وكوّن كوادى علمية بقسم الأراضى والمياه بالهيئة. أعير لقسم علوم التربة بجامعة الملك سعود بالرياض بالسعودية (٨١ - ١٩٨٧)، وأنشأ معملًا للنظائر المشعة، وأعد برنامجاً لدرجة الماجستير بنفس القسم. عمل ممتحناً خارجياً بكلية الزراعة جامعة الخرطوم بالسودان (١٩٩٢). انتدب للتدريس بجامعة قناة السويس ومعهد الدراسات والبحوث البيئية بجامعة عين شمس.

وتهتم أبحاث د. محمد الننه بكيمياء الفوسفات والعناصر النادرة فى الأراضى باستخدام النظائر المشعة، وتلوث البيئة الزراعية (التربة والمياه والنبات) بالعناصر النادرة الناتجة من استخدام مخلفات المجارى (مياه أو حمأة) والمخلفات الصناعية فى

الأغراض الزراعية، مع تركيز خاص على تلوث المياه وصلاحياتها للرى واستخدام التحليل بالتنشيط الإشعاعى فى دراسة تلوث البيئة الزراعية. ويقوم بتدريس مقررات «كيمياء الأراضى»، «استخدام النظائر المشعة فى بحوث الأراضى» لطلبة قسم الأراضى فى مرحلتى البكالوريوس والدراسات العليا، ومقرر «كيمياء المياه، وتلوثها، وصلاحياتها» لطلبة الماجستير والدكتوراه بمعهد الدراسات والبحوث البيئية بجامعة عين شمس. أشرف على حوالى ٢٥ رسالة ماجستير ودكتوراه - ونشر حوالى ٦٠ بحثاً فى المجالات الدوائية والمحلية. وهو عضو فى بعض اللجان المميزة مثل: لجنة الموارد الأرضية واستصلاح الأراضى بأكاديمية البحث العلمى، واللجنة القومية للمخلفات الزراعية بوزارة الزراعة، واللجان الدائمة للترقية بمركز بحوث الصحراء وهيئة الطاقة الذرية المصرية.

المشروع القومي للترجمة

المشروع القومي للترجمة مشروع تنمية ثقافية بالدرجة الأولى ، ينطلق من الإيجابيات التي حققتها مشروعات الترجمة التي سبقته في مصر والعالم العربي ويسعى إلى الإضافة بما يفتح الأفق على وعود المستقبل، معتمداً المبادئ التالية :

- ١- الخروج من أسر المركزية الأوروبية وهيمنة اللغتين الإنجليزية والفرنسية .
- ٢- التوازن بين المعارف الإنسانية في المجالات العلمية والفنية والفكرية والإبداعية .
- ٣- الانحياز إلى كل ما يؤسس لأفكار التقدم وحضور العلم وإشاعة العقلانية والتشجيع على التجريب .
- ٤- ترجمة الأصول المعرفية التي أصبحت أقرب إلى الإطار المرجعي في الثقافة الإنسانية المعاصرة، جنباً إلى جنب المنجزات الجديدة التي تضع القارئ في القلب من حركة الإبداع والفكر العالميين .
- ٥- العمل على إعداد جيل جديد من المترجمين المتخصصين عن طريق ورش العمل بالتنسيق مع لجنة الترجمة بالمجلس الأعلى للثقافة .
- ٦- الاستعانة بكل الخبرات العربية وتنسيق الجهود مع المؤسسات المعنية بالترجمة .

المشروع القومى للترجمة

١- اللغة العليا (طبعة ثانية)	جون كوين	ت : أحمد برويش
٢- الوثنية والإسلام	ك. مادهو باننيكار	ت : أحمد قزاد بليغ
٣- التراث المسروق	جورج جيمس	ت : شوقي جلال
٤- كيف تتم كتابة السيناريو	انجا كاريستكوفا	ت : أحمد الحضري
٥- ثريا فى غيبوبة	إسماعيل فصيح	ت : محمد علاء الدين منصور
٦- اتجاهات البحث اللساني	ميلكا إفيتش	ت : سعد مصلوح / وفاء كامل فايد
٧- العلوم الإنسانية والفلسفة	لوسيان غولمان	ت : يوسف الأنطكي
٨- مشطو الحرائق	ماكس فريش	ت : مصطفى ماهر
٩- التغيرات البيئية	أندرو س. جودي	ت : محمود محمد عاشور
١٠- خطاب الحكاية	جيرار جينيت	ت : محمد مقصم وعبد الجليل الأركي وعمر حلي
١١- مختارات	فيسوافا شيمبوريسكا	ت : هناء عبد الفتاح
١٢- طريق الحرير	بيفيد براونستون وايرين فرانك	ت : أحمد محمود
١٣- بيانة الساميين	روبرتسن سميث	ت : عبد الوهاب علوب
١٤- التحليل النفسى للأدب	جان بيلمان نورل	ت : حسن المودن
١٥- الحركات الفنية	إيوارد لويس سميث	ت : أشرف رفيق مفيفى
١٦- أثينة السوداء	مارتن برنال	ت : ياشرافد أحمد عثمان
١٧- مختارات	فيليب لاركين	ت : محمد مصطفى بدوى
١٨- الشعر النسائي فى أمريكا اللاتينية	مختارات	ت : طلعت شاهين
١٩- الأعمال الشعرية الكاملة	جورج سفيريس	ت : نعيم عطية
٢٠- قصة العلم	ج. ج. كراوثر	ت : يعنى طريف الخولى / بدوى عبد الفتاح
٢١- خوخة وألف خوخة	صمد بهرنجى	ت : ماجدة العناني
٢٢- منكرات رحالة عن المصريين	جون أنتيس	ت : سيد أحمد على الناصري
٢٣- تجلى الجميل	هانز جيورج جادامر	ت : سعيد توفيق
٢٤- ظلال المستقبل	باتريك بارندر	ت : بكر عباس
٢٥- مثنوى	مولانا جلال الدين الرومى	ت : إبراهيم الدسوقي شتا
٢٦- دين مصر العام	محمد حسين هيكل	ت : أحمد محمد حسين هيكل
٢٧- التنوع البشرى الخلاق	مقالات	ت : نخبة
٢٨- رسالة فى التسامح	جون لوك	ت : منى أبو منة
٢٩- الموت والوجود	جيمس ب. كارس	ت : بدر الديب
٣٠- الوثنية والإسلام (ط٢)	ك. مادهو باننيكار	ت : أحمد قزاد بليغ
٣١- مصادر دراسة التاريخ الإسلامى	جان سوفاجيه - كلود كاين	ت : عبد الستار الطوجى / عبد الوهاب علوب
٣٢- الانقراض	بيفيد روس	ت : مصطفى إبراهيم فهمى
٣٣- التاريخ الاقتصادى لإفريقيا الغربية	أ. ج. هوبكنز	ت : أحمد قزاد بليغ
٣٤- الرواية العربية	روجر آلن	ت : حمزة إبراهيم المنيف
٣٥- الأسطورة والحداثة	بول . ب . بيكسون	ت : خليل كلفت

٢٦- نظريات السرد الحديثة	والاس مارتن	ت - حياة جاسم محمد
٢٧- واحة سيوة وموسيقاها	بريجيت شيفر	ت - جمال عبد الرحيم
٢٨- نقد الحداثة	الن نورين	ت - أنور مقيث
٢٩- الإغريق والحسد	بيتر والكوت	ت - منيرة كروان
٤٠- قصائد حب	آن سكستون	ت - محمد عبد إبراهيم
٤١- ما بعد المركزية الأوربية	بيتر جران	ت - عاتق أحمد / إبراهيم قنحي / محمود ملحد
٤٢- عالم ماك	بنجامين باربر	ت - أحمد محمود
٤٣- اللهب المزوج	أوكتايفو پاث	ت - المهدي أخريف
٤٤- بعد عدة أصياف	ألدرس هكسلي	ت - مارلين تادرس
٤٥- التراث المغفور	روبرت ج دنيا - جون ف أ فاين	ت - أحمد محمود
٤٦- عشرون قصيدة حب	يابلو نيرودا	ت - محمود السيد علي
٤٧- تاريخ النقد الأدبي الحديث (١)	رينيه ويليك	ت - مجاهد عبد المنعم مجاهد
٤٨- حضارة مصر الفرعونية	فرانسوا دوما	ت - ماهر جويدياتي
٤٩- الإسلام في البلقان	هـ . ت . نوريس	ت - عبد الوهاب علوي
٥٠- ألف ليلة وليلة أو القول الأسير	جمال الدين بن الشيخ	ت - محمد براءة عثمانى الميود و يوسف الأندلسي
٥١- مسار الرواية الإسبانية أمريكية	داريو بيانوبيا و غـ . م بينباليستي	ت - محمد أبو العطا
٥٢- العلاج النفسي التدميمي	بيتر . ن . نوفاليس وسيدة يفتن . ج .	ت - لطفي فطيم وعادل بدرdash
٥٣- الدراما والتعليم	روچسيفيتز وروجر بيل	ت - مرسى سعد الدين
٥٤- المفهوم الإغريقي للمسرح	أ . ف . ألنجنون	ت - محسن مصباحي
٥٥- ما وراء العلم	ج مايكل والتون	ت - علي يوسف علي
٥٦- الأعمال الشعرية الكاملة (١)	جون بولكنجهوم	ت - محمود علي مكي
٥٧- الأعمال الشعرية الكاملة (٢)	فديريكو غرسية لوركا	ت - محمود السيد ، ماهر البطوطي
٥٨- مسرحيتان	فديريكو غرسية لوركا	ت - محمد أبو العطا
٥٩- المحبرة	كارلوس مونيث	ت - السيد السيد سديم
٦٠- التصميم والشكل	جوهانز ايتين	ت - صدي محمد عبد الغني
٦١- موسوعة علم الإنسان	شارلوت سيمور - سميت	مراجعة وإشراف - محمد الجوهري
٦٢- لذة النص	رولان بارت	ت - محمد خير البقاعي
٦٣- تاريخ النقد الأدبي الحديث (٢)	رينيه ويليك	ت - مجاهد عبد المنعم مجاهد
٦٤- برتراند راسل (سيرة حياة)	ألان وود	ت - ريمس عوني
٦٥- في مدح الكسل ومقالات أخرى	برتراند راسل	ت - ريمس عوني
٦٦- خمس مسرحيات أندلسية	أنطونيو جالا	ت - عبد الحافظ عبد السلام
٦٧- مختارات	فرناندو بيسوا	ت - المهدي أخريف
٦٨- نتاشا العجوز وقصص أخرى	فالتين راسبوتين	ت - أشرف الصدام
٦٩- العالم الإسلامي في أوائل القرن العشرين	عبد الرشيد إبراهيم	ت - أحمد فؤاد موالى وهويدا محمد فهمي
٧٠- ثقافة وحضارة أمريكا اللاتينية	أوخينيو تشانج رودريجت	ت - عبد الحميد غلاب وأحمد حشاد
٧١- السيدة لا تصلح إلا للرمي	داريو فو	ت - حسين محمود

- ٧٢- السياسي العجوز ت . س . إليوت
- ٧٣- نقد استجابة القارئ جين . ب . تومكينز
- ٧٤- صلاح الدين والمماليك في مصر ل . ا . سيمينوفا
- ٧٥- فن التراجم والسير الذاتية أندريه موروا
- ٧٦- جاك لاكان وإغواء التحليل النفسي مجموعة من الكتاب
- ٧٧- تاريخ النقد الأدبي الحديث ج ٢ ريتيه ويليك
- ٧٨- العولمة : النظرية الاجتماعية والثقافة الكونية رونالد روبيرتسون
- ٧٩- شعرية التأليف يوريس أوسبنسكي
- ٨٠- بوشكين عند «نافورة الدموع» ألكسندر بوشكين
- ٨١- الجماعات المتخيلة بندكت أندرسن
- ٨٢- مسرح ميغيل ميغيل دي أونامونو
- ٨٣- مختارات غوتفريد بن
- ٨٤- موسوعة الأدب والنقد مجموعة من الكتاب
- ٨٥- منصور الحلاج (مسرحية) صلاح زكي أقطاي
- ٨٦- طول الليل جمال مير صانقي
- ٨٧- نون والقلم جلال آل أحمد
- ٨٨- الابتلاء بالتقرب جلال آل أحمد
- ٨٩- الطريق الثالث أنتوني جيننز
- ٩٠- وسم السيف ميغل دي ترباس
- ٩١- المسرح والتجريب بين النظرية والتطبيق باربر الاسوستكا
- ٩٢- أساليب ومضامين المسرح
- ٩٣- الإسبانيون أمريكي المعاصر كارلوس ميغل
- ٩٤- محدثات العولمة مايك فينرستون وسكوت لاش
- ٩٥- الحب الأول والصحة صمويل بيكيت
- ٩٦- مختارات من المسرح الإسباني أنطونيو بويرو بايخو
- ٩٧- ثلاث زنبقات وردة قصص مختارة
- ٩٨- هوية فرنسا مع ١ فرنان برودل
- ٩٩- الهم الإنساني والابتزاز الصهيوني نماذج ومقالات
- ١٠٠- تاريخ السينما العالمية بيقيد روبنسون
- ١٠١- مسألة العولمة بول هيرست وجراهام تومبسون
- ١٠٢- النص الروائي (تقنيات ومناهج) برنار فالبل
- ١٠٣- السياسة والتسامح عبد الكريم الخطيب
- ١٠٤- قبر ابن عربي يابيه اياه عبد الوهاب المذهب
- ١٠٥- أوبرا ماهوجنى برتولت بريشت
- ١٠٦- مدخل إلى النص الجامع جيرار جينيت
- ١٠٧- الأدب الأندلسي د . ماريا خيسوس روبيرامتي
- ١٠٨- صورة اللادني في الشعر الأمريكي المعاصر نخبه
- ت : فؤاد مجلى
- ت : حسن ناظم وعلى حاكم
- ت : حسن بيومي
- ت : أحمد درويش
- ت : عبد المقصود عبد الكريم
- ت : مجاهد عبد المنعم مجاهد
- ت : أحمد محمود ونورا أمين
- ت : سعيد الغانمي وناصر حلاوي
- ت : مكارم الغمري
- ت : محمد طارق الشوقاي
- ت : محمود السيد على
- ت : خالد المعالي
- ت : عبد الحميد شبيحة
- ت : عبد الرازق بركات
- ت : أحمد فتحي يوسف شتا
- ت : ماجدة العناني
- ت : إبراهيم الدسوقي شتا
- ت : أحمد زايد ومحمد محيي الدين
- ت : محمد إبراهيم مبروك
- ت : محمد هناء عبد الفتاح
- ت : نادية جمال الدين
- ت : عبد الوهاب علوب
- ت : فوزية العشماوي
- ت : سري محمد محمد عبد اللطيف
- ت : إيلوار الخراط
- ت : بشير السباعي
- ت : أشرف الصباغ
- ت : إبراهيم قنديل
- ت : إبراهيم فتحي
- ت : رشيد بنحرو
- ت : عز الدين الكتاني الإدريسي
- ت : محمد بنيس
- ت : عبد الفقار مكاوي
- ت : عبد العزيز شبيل
- ت : د . أشرف على دعبور
- ت : محمد عبد الله الجعدي

١٠٨- ثلاث دراسات عن الشعر الأشلسي	مجموعة من النقاد	ت : محمود على مكي
١٠٩- حروب المياه	جون بولوك وعادل درويش	ت : هاشم أحمد محمد
١١٠- النساء في العالم النامي	حسنة بيجوم	ت : منى قطان
١١١- المرأة والجريمة	فرانسيس هيندسون	ت : ريهام حسين إبراهيم
١١٢- الاحتجاج الهادئ	أرلين علوى ماكليود	ت : إكرام يوسف
١١٣- راية التمرد	سادى پلانت	ت : أحمد حسان
١١٤- مسرحيتا حصاد كونجى وسكان المستنق	رول شوينكا	ت : نسيم مجلى
١١٥- غرفة تخص المرء وحده	فرچينيا وولف	ت : سمىة رمضان
١١٦- امرأة مختلفة (نرية شفيق)	سينثيا نلسون	ت : نهاد أحمد سالم
١١٧- المرأة والجنوسة فى الإسلام	ليلى أحمد	ت : منى إبراهيم ، وهالة كمال
١١٨- النهضة النسائية فى مصر	بث بارون	ت : لميس النقاش
١١٩- النساء والأسرة وقوانين الطلاق	أميرة الأزهرى سنيل	ت : بإشراف/ رؤوف عباس
١٢٠- الحركة النسائية والتطور فى الشرق الأوسط	ليلى أبو لغد	ت : نخبة من المترجمين
١٢١- الدليل الصغير عن الكاتبات العربيات	فاطمة موسى	ت : محمد الجندي ، وإيزابيل كمال
١٢٢- نظام العبودية القديم ونموذج الإنسان	جوزيف فوجت	ت : منيرة كروان
١٢٣- الإمبراطورية العثمانية وعلاقاتها الدولية	نيلز الكسندر وفنادولينا	ت: أنور محمد إبراهيم
١٢٤- الفجر الكاذب	جون جراى	ت : أحمد فؤاد بليغ
١٢٥- التحليل الموسيقى	سيدريك ثورپ ديفى	ت : سمحه الخولى
١٢٦- فعل القراءة	فولفانج إيسر	ت : عبد الوهاب علوب
١٢٧- إرهاب	صفاء فتحي	ت : بشير السبامى
١٢٨- الأدب المقارن	سوزان باسنيث	ت : أميرة حسن نورية
١٢٩- الرواية الإسبانية المعاصرة	ماريا دولورس أسيس جاروته	ت : محمد أبو العطا وآخرون
١٣٠- الشرق يصعد ثانية	أنثريه جوندز فرانك	ت : شوقي جلال
١٣١- مصر القديمة (التاريخ الاجتماعى)	مجموعة من المؤلفين	ت : لويس بقطر
١٣٢- ثقافة العولة	مايك فيذرستون	ت : عبد الوهاب علوب
١٣٣- الخوف من المرايا	طارق على	ت : طلعت الشايب
١٣٤- تشريح حضارة	بارى ج. كيمب	ت : أحمد محمود
١٣٥- المختار من نقد ت. س. إليوت	ت. س. إليوت	ت : ماهر شفيق فريد
١٣٦- فلاحو الباشا	كينيث كوتو	ت : سحر توفيق
١٣٧- مذكرات ضابط فى الحملة الفرنسية	جوزيف مارى مواريه	ت : كاميليا صبحى
١٣٨- عالم التلفزيون بين الجمال والعنف	إيفيلينا تارونى	ت : وجيه سمعان عبد المسيح
١٣٩- باريسغال	ريشارد فاجنر	ت : مصطفى ماهر
١٤٠- حيث تلتقى الأنهار	هربرت ميسن	ت : أمل الجبورى
١٤١- اثنتا عشرة مسرحية يونانية	مجموعة من المؤلفين	ت : نعيم عطية
١٤٢- الإسكندرية : تاريخ ودليل	أ. م. فورستر	ت : حسن بيومى
١٤٣- قضايا التنظير فى البحث الاجتماعى	بيريك لايدار	ت : عدلى السمرى
١٤٤- صاحبة اللوكاندة	كارلو جولدونى	ت : سلامة محمد سليمان

- ١٤٥- موت أرتيميو كروث
١٤٦- الورقة الحمراء
١٤٧- خطبة الإدانة الطويلة
١٤٨- القصة القصيرة (النظرية والتقنية)
١٤٩- النظرية الشعرية عند إليوت وأونيس
١٥٠- التجربة الإغريقية
١٥١- هوية فرنسا مج ٢ ، ج ١
١٥٢- عدالة الهند وقصص أخرى
١٥٢- غرام الفراعنة
١٥٤- مدرسة فرانكفورت
١٥٥- الشعر الأمريكي المعاصر
١٥٦- المدارس الجمالية الكبرى
١٥٧- خسرو وشيرين
١٥٨- هوية فرنسا مج ٢ ، ج ٢
١٥٩- الإيديولوجية
١٦٠- آلة الطبيعة
١٦١- من المسرح الإسباني
١٦٢- تاريخ الكنيسة
١٦٣- موسوعة علم الاجتماع
١٦٤- شامبوليون (حياة من نور)
١٦٥- حكايات الثعلب
١٦٦- العلاقات بين المتدينين والعلمايين في إسرائيل
١٦٧- في عالم طاغور
١٦٨- دراسات في الأدب والثقافة
١٦٩- إبداعات أدبية
١٧٠- الطريق
١٧١- وضع حد
١٧٢- حجر الشمس
١٧٣- معنى الجمال
١٧٤- صناعة الثقافة السوداء
١٧٥- التلفزيون في الحياة اليومية
١٧٦- نحو مفهوم للاقتصاديات البيئية
١٧٧- أنطون تشيخوف
١٧٨- مختارات من الشعر اليوناني الحديث
١٧٩- حكايات أيسوب
١٨٠- قصة جاويد
١٨١- النقد الأدبي الأمريكي
١٨٢- العنف والنبوة
١٨٣- جان ككتو على شاشة السينما
- كارلوس فويقتس
ميجيل دي ليس
تاتكريد نورست
إنريكي أندرسون إمبرت
عاطف فضول
روبرت ج. ليتمان
فرنان برودل
نخبة من الكتاب
فيولين فانتويك
فيل سليتر
نخبة من الشعراء
جى أنبال وآلان وأوديت فيرمو
النظامي الكونجى
فرنان برودل
ديفيد هوكس
بول إيرليش
اليخاندرو كاسونا وأنطونيو جالا
يوحنا الاسيوى
جوردين مارشال
جان لاكوثير
أ. ن أفانا سيفا
يشعياهو ليتمان
رابندراناث طاغور
مجموعة من المؤلفين
مجموعة من المبدعين
ميفيل دليبيس
فرانك بيجو
مختارات
ولتر ت. ستيس
ايليس كاشمور
لورينزو فياليس
توم تيتبرج
هنرى تروايا
نخبة من الشعراء
أيسوب
إسماعيل فصيح
هنسنيت ب. ليتش
وب. بيتس
رينيه چياسون
- ت : أحمد حسان
ت : على عبدالرزوف البمبي
ت : عبدالقفار مكايى
ت : على إبراهيم على منوفى
ت : أسامة إسمير
ت : منيرة كروان
ت : بشير السباعى
ت : محمد محمد الخطابى
ت : فاطمة عبدالله محمود
ت : خليل كلفت
ت : أحمد مرمى
ت : مى التلمسانى
ت : عبدالعزيز بقوش
ت : بشير السباعى
ت : إبراهيم فتحى
ت : حسين بيومى
ت : زيدان عبدالحليم زيدان
ت : صلاح عبدالعزيز محجوب
ت : بإشراف: محمد الجوهري
ت : نبيل سعد
ت : مهيبر المصانفة
ت : محمد محمود أبو غدير
ت : شكرى محمد عياد
ت : شكرى محمد عياد
ت : شكرى محمد عياد
ت : بسام ياسين رشيد
ت : هدى حسين
ت : محمد محمد الخطابى
ت : إمام عبد الفتاح إمام
ت : أحمد محمود
ت : وجيه سمعان عبد المسيح
ت : جلال البنا
ت : حمزة إبراهيم المنيف
ت : محمد حمدى إبراهيم
ت : إمام عبد الفتاح إمام
ت : سليم عبد الأمير حمدان
ت : محمد يحيى
ت : ياسين طه حافظ
ت : فتحى العشرى

١٨٤- القاهرة... حالة لا تنام	هانز إيندورفر	ت. نسوقى سعيد
١٨٥- أسفار العهد القديم	توماس تومسن	ت. عبد الوهاب علوب
١٨٦- معجم مصطلحات هيجل	ميخائيل إنوود	ت. إمام عبد الفتاح إمام
١٨٧- الأرضة	يُزْرُجْ علوى	ت. محمد علاء الدين منصور
١٨٨- موت الألب	الفين كرنان	ت. بدر الديب
١٨٩- العمى والبصيرة	بول دى مان	ت. سعيد الغانمى
١٩٠- محاورات كونفوشيوس	كونفوشيوس	ت. محسن سيد فرجاني
١٩١- الكلام وأسمال	الحاج أبو بكر إمام	ت. مصطفى حجازى السيد
١٩٢- رحلة إبراهيم بك ج١	زين العابدين المراغى	ت. محمود سلامة علاوى
١٩٣- عامل النجم	بيتر أبراهامز	ت. محمد عبد الواحد محمد
١٩٤- مختارات من النقد الأنجلو-أمريكى	مجموعة من النقاد	ت. ماهر شفيق فريد
١٩٥- شتاء ٨٤	إسماعيل فصيح	ت. محمد علاء الدين منصور
١٩٦- المهلة الأخيرة	فالتين راسبوتين	ت. أشرف الصباغ
١٩٧- الفاروق	شمس العلماء شبلى النعمانى	ت. جلال السعيد الحفناوى
١٩٨- الاتصال الجماهيرى	ابوين إمري وأخرون	ت. إبراهيم سلامة إبراهيم
١٩٩- تاريخ يهود مصر فى الفترة العثمانية	يعقوب لاندراوى	ت. جمال أحمد الرفاعى وأحمد عبد اللطيف حماد
٢٠٠- ضحايا التنمية	جيرمى سيبورك	ت. فخرى لبيب
٢٠١- الجانب الدينى للفلسفة	جوزايا رويس	ت. أحمد الأنصارى
٢٠٢- تاريخ النقد الأدبى الحديث ج٤	رينيه ويليك	ت. مجاهد عبد المنعم مجاهد
٢٠٣- الشعر والشاعرية	ألطاف حسين حالى	ت. جلال السعيد الحفناوى
٢٠٤- تاريخ نقد العهد القديم	زالمان شازار	ت. أحمد محمود هويدي
٢٠٥- الجينات والشعوب واللغات	لويجى لوقا كافاللى- سفورزا	ت. أحمد مستجير
٢٠٦- الهولوية تصنع علماً جديداً	جيمس جلابك	ت. على يوسف على
٢٠٧- ليل إفريقى	رامون خوتاسنديز	ت. محمد أبو العطا عبد الرؤوف
٢٠٨- شخصية العربى فى المسرح الإسرائيلى	دان أوريان	ت. محمد أحمد صالح
٢٠٩- السرد والمسرح	مجموعة من المؤلفين	ت. أشرف الصباغ
٢١٠- مثنويات حكيم سنائى	سنائى الغزنوى	ت. يوسف عبد الفتاح فرج
٢١١- فرديناند بوسوسير	جوناثان كلار	ت. محمود حمدي عبد الفنى
٢١٢- قصص الأمير مرزبان	مرزبان بن رستم بن شروين	ت. يوسف عبد الفتاح فرج
٢١٣- مصر منذ قدم نابليون حتى رحيل محمد الناصر	ريمون فلاور	ت. سعد أحمد على الناصرى
٢١٤- قواعد جديدة للمنهج فى علم الاجتماع	أنتونى جيلنز	ت. محمد محمود محيى الدين
٢١٥- سياحت نامه إبراهيم بيك ج٢	زين العابدين المراغى	ت. محمود سلامة علاوى
٢١٦- جوانب أخرى من حياتهم	مجموعة من المؤلفين	ت. أشرف الصباغ
٢١٧- مسرحيتان طليعيتان	ص. بيكيت	ت. نادية البزهاوى
٢١٨- لعبة الحجلة (رايولا)	خاويو كورتازان	ت. على إبراهيم على منوفى
٢١٩- بقايا اليوم	كازو ايشجورو	ت. طلعت الشايب
٢٢٠- الهولوية فى الكون	بارى باركر	ت. على يوسف على
٢٢١- شعرية كفافى	جريجورى جوزداتيس	ت. رفعت سلام

٢٢٢- فرانز كافكا	رونالد جراى	ت: نسيم مجلى
٢٢٣- العلم فى مجتمع حر	بول فيرابنر	ت: السيد محمد نقادى
٢٢٤- دمار يوغسلافيا	برانكا ماجاس	ت: منى عبدالظاهر إبراهيم السيد
٢٢٥- حكاية غريق	جابريل جارتيا ماركث	ت: السيد عبدالظاهر السيد
٢٢٦- أرض المساء وقصائد أخرى	ديفيد هربت لورانس	ت: طاهر محمد على البريرى
٢٢٧- المسرح الإسباني فى القرن السابع عشر	موسى مارييا بيف بوركى	ت: السيد عبدالظاهر عبدالله
٢٢٨- علم الجمالية وعلم اجتماع الفن	جانيت وولف	ت: ماري تيريز عبدالمسيح وخالد حسن
٢٢٩- مأزق البطل الوحيد	نورمان كيجان	ت: أمير إبراهيم العمرى
٢٣٠- عن الذباب والفتران والبشر	فرانسواز جاكوب	ت: مصطفى إبراهيم فهمى
٢٣١- الدرافيل	خايمى سالوم بيدال	ت: جمال أحمد عبدالرحمن
٢٣٢- ما بعد المعلومات	توم ستينر	ت: مصطفى إبراهيم فهمى
٢٣٣- فكرة الاضمحلال	آرثر هومان	ت: طلعت الشايب
٢٣٤- الإسلام فى السودان	ج. سبنسر تريمنجهام	ت: فؤاد محمد عكود
٢٣٥- ديوان شمس تيريزى ج١	جلال الدين مولوى رومى	ت: إبراهيم الدسوقي شتا
٢٣٦- الولاية	ميشيل تود	ت: أحمد الطيب
٢٣٧- مصر أرض الوادى	روبين فيرين	ت: عنايات حسين طلعت
٢٣٨- العولة والتحرير	الانكتاد	ت: ياسر محمد جادالله وعيسى مديولى أحمد
٢٣٩- العربى فى الأدب الإسرائيلى	جيلارافر - رايوخ	ت: نادية سليمان حافظ وإيهاب صلاح فايق
٢٤٠- الإسلام والغرب وإمكانية الحوار	كامى حافظ	ت: صلاح عبدالعزيز محجوب
٢٤١- فى انتظار البرابرة	ج . م كويتز	ت: ابتسام عبدالله سعيد
٢٤٢- سبعة أنماط من الغموض	وليام إميسون	ت: صبرى محمد حسن عبدالنبي
٢٤٣- تاريخ إسبانيا الإسلامية ج١	ليفى بروفنسال	ت: على عبدالرؤف البعبى
٢٤٤- الغليان	لاورا إسكييل	ت: نانية جمال الدين محمد
٢٤٥- نساء مقاتلات	إليزابيتا أنيس	ت: توفيق على منصور
٢٤٦- مختارات قصصية	جابريل جارتيا ماركث	ت: على إبراهيم على منوفى
٢٤٧- الثقافة الجماهيرية والحدثة فى مصر	والتر إرمبريست	ت: محمد طارق الشرقاوى
٢٤٨- حقول عدن الخضراء	أنطونيو جالا	ت: عبداللطيف عبدالحليم عبدالله
٢٤٩- لغة التمزق	دراجو شتامبوك	ت: رفعت سلام
٢٥٠- علم اجتماع العاوم	يومنيك فينيك	ت: ماجدة محسن أباطة
٢٥١- موسوعة علم الاجتماع (ج٢)	جوردين مارشال	ت: بإشراف: محمد الجوهري
٢٥٢- رائدات الحركة النسوية المصرية	مارجو بدران	ت: على بدران
٢٥٣- تاريخ مصر الفاطمية	ل أ. سيمينوفا	ت: حسن بيومى
٢٥٤- الفلسفة	ديف روبنسون وجودى جروفز	ت: إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٥- أفلامون	ديف روبنسون وجودى جروفز	ت: إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٦- ديكارت	ديف روبنسون ، كريس جرات	ت: إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٧- تاريخ الفلسفة الحديثة	وليم كلى رايت	ت: محمود سيد أحمد
٢٥٨- الفجر	سير أنجوس فريزر	ت: عباده كُحيلة
٢٥٩- مختارات من الشعر الأرمنى عبر العصور	اقلام مختلفة	ت: فاروجان كازانجيان

٢٦٠- موسوعة علم الاجتماع ج ٢	جورجن مارشال	ت: باشراف: محمد الجوهري
٢٦١- رحلة في فكر زكي نجيب محمود	زكي نجيب محمود	ت: إمام عبد الفتاح إمام
٢٦٢- مدينة المعجزات	إدوارد مندوتا	ت: محمد أبو العطا عبد الرؤوف
٢٦٣- الكشف عن حافة الزمن	جون جرين	ت: علي يوسف علي
٢٦٤- إبداعات شعرية مترجمة	هوراس/ شلي	ت: لويس عوض
٢٦٥- روايات مترجمة	أوسكار وايلد وصموئيل جونسون	ت: لويس عوض
٢٦٦- مدير المدرسة	جلال آل أحمد	ت: عادل عبد المنعم سويلم
٢٦٧- فن الرواية	ميلان كونديرا	ت: بدر الدين عروكي
٢٦٨- نيران شمس تيريزي ج ٢	جلال الدين الرومي	ت: إبراهيم الدسوقي شتا
٢٦٩- وسط الجزيرة العربية وشرقها ج ١	وليم جيفورد بالجريف	ت: صبري محمد حسن
٢٧٠- وسط الجزيرة العربية وشرقها ج ٢	وليم جيفورد بالجريف	ت: صبري محمد حسن
٢٧١- الحضارة الفريجية	توماس م. باترسون	ت: شوقي جلال
٢٧٢- الأديرة الأثرية في مصر	س. س والترز	ت: إبراهيم سلامة
٢٧٣- الاستعمار والثورة في الشرق الأوسط	جوان آر. لوك	ت: عنان الشهاوي
٢٧٤- السيدة باربارا	روموالو جلاجوس	ت: محمود مكي
٢٧٥- ت. س إليوت شاعرا وناقدا وكاتب مسرحيا	أقلام مختلفة	ت: ماهر شفيق فريد
٢٧٦- فنون السينما	فرائك جوتيران	ت: عبد القادر التلمساني
٢٧٧- الجينات: الصراع من أجل الحياة	بريان فورد	ت: أحمد فوزي
٢٧٨- البدايات	إسحق عظيموف	ت: ظريف عبدالله
٢٧٩- الحرب الباردة الثقافية	ف.س. سوندرز	ت: طلعت الشايب
٢٨٠- من الأدب الهندي الحديث والمعاصر	بريم شند وآخرون	ت: سمير عبد الحميد
٢٨١- الفريوس الأعلى	مولانا عبد الحليم شرر الكهنوي	ت: جلال الحفناوي
٢٨٢- طبيعة العلم غير الطبيعية	لويس وابيرت	ت: سمير حنا صادق
٢٨٣- السهل يحترق	خوان رولفو	ت: علي البمبي
٢٨٤- هرقل مجنوننا	يوريبيدس	ت: أحمد عثمان
٢٨٥- رحلة الخواجة حسن نظامي	حسن نظامي	ت: سمير عبد الحميد
٢٨٦- رحلة إبراهيم بك ج ٢	زين العابدين المراغي	ت: محمود سلامة علاوي
٢٨٧- الثقافة والعولة والنظام العالمي	انتوني كنيج	ت: محمد يحيى وآخرون
٢٨٨- الفن الروائي	بيفيد لودج	ت: ماهر البطوطي
٢٨٩- نيران منجوهري الدامغاني	أبو نجم أحمد بن قوس	ت: محمد نور الدين عبد المنعم
٢٩٠- علم اللغة والترجمة	جورج موناخ	ت: أحمد زكريا إبراهيم
٢٩١- المسرح الإسباني في القرن العشرين ج ١	فرانشيسكو رويس رامون	ت: السيد عبد الظاهر
٢٩٢- المسرح الإسباني في القرن العشرين ج ٢	فرانشيسكو رويس رامون	ت: السيد عبد الظاهر
٢٩٣- مقدمة للأدب العربي	روجر آلان	ت: نخبة من المترجمين
٢٩٤- فن الشعر	برالو	ت: رجاء ياقوت صالح
٢٩٥- سلطان الأسطورة	جوزيف كامبل	ت: بدر الدين حب الله الديب
٢٩٦- مكتب	وليم شكسبير	ت: محمد مصطفى بدوي
٢٩٧- فن النحو بين اليونانية والسريانية	ليونيسيوس ثراكس - يوسف الأهواني	ت: ماجدة محمد أنور

٢٩٨- مأساة العبيد	أبو بكر تقاوا بليوه	ت: مصطفى حجازي السيد
٢٩٩- ثورة التكنولوجيا الحيوية	جين ل. ماركس	ت: هاشم أحمد فؤاد
٣٠٠- أسطورة برومثيروس في الأدبين	لويس عوض	ت: جمال الجزيري وبهاء جاهين
الإنجليزي والفرنسي مج١		وإيزابيل كمال
٣٠١- أسطورة برومثيروس في الأدبين	لويس عوض	ت: جمال الجزيري و محمد الجندي
الإنجليزي والفرنسي مج٢		
٣٠٢- فنجنشتين	جون هيتون وجودي جروفز	ت: إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٣- بوذا	جين هوب وبورن فان لون	ت: إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٤- ماركس	ريوس	ت: إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٥- الجلد	كروزيو مالابارتي	ت: صلاح عبد الصبور
٣٠٦- الحماسة - النقد الكانطي للتاريخ	جان - فرانسوا ليونار	ت: نبيل سعد
٣٠٧- الشعور	ديفيد بابينو	ت: محمود محمد أحمد
٣٠٨- علم الوراثة	ستيف جونز	ت: مدوح عبد المنعم أحمد
٣٠٩- الذهن والمخ	أنجوس چيلاتي	ت: جمال الجزيري
٣١٠- يونج	ناجي هيد	ت: محيي الدين محمد حسن
٣١١- مقال في المنهج الفلسفي	كونجورد	ت: فاطمة إسماعيل
٣١٢- روح الشعب الأسود	وليم دي بويز	ت: أسعد حليم
٣١٣- أمثال فلسطينية	خاير بيان	ت: عبدالله الجعدي
٣١٤- الفن كعدم	جينس مينيك	ت: هويدا السباعي
٣١٥- جرامشي في العالم العربي	ميشيل بروندينو	ت: كاميليا صبحي
٣١٦- محاكمة سقراط	أ.ف. ستون	ت: نسيم مجلى
٣١٧- بلا غد	شير لايموفا- زنيكين	ت: أشرف الصباغ
٣١٨- الأدب الروس في السنوات العشر الأخيرة	نخبة	ت: أشرف الصباغ
٣١٩- صور دريدا	جايتو ياسييفاك وكريستوفر نوريس	ت: حسام نايل
٣٢٠- لمة السراج في حضرة التاج	مؤلف مجهول	ت: محمد علاء الدين منصور
٣٢١- تاريخ إسبانيا الإسلامية ج٢	ليفى برو هنسال	ت: نخبة من المترجمين
٣٢٢- وجهات غربية حديثة في تاريخ الفن	دبليو يوجين كلينبارد	ت: خالد مفلح حمزه
٣٢٣- فن الساتورا	تراث يوناني قديم	ت: هانم سليمان
٣٢٤- اللعب بالنار	أشرف أسدى	ت: محمود سلامة علاوى
٣٢٥- عالم الآثار	فيليب بوسان	ت: كريستين يوسف
٣٢٦- المعرفة والمصلحة	جورجين هابرماس	ت: حسن صقر
٣٢٧- مختارات شعرية مترجمة	نخبة	ت: توفيق على منصور
٣٢٨- يوسف وزليخا	نور الدين عبد الرحمن بن أحمد	ت: عبد العزيز يقوش
٣٢٩- رسائل عيد الميلاد	تد هيوز	ت: محمد عيد إبراهيم
٣٣٠- كل شيء عن التمثيل الصامت	مارفن شيرد	ت: سامى صلاح
٣٣١- عندما جاء السردين	ستيفن جراى	ت: سامية دياب
٣٣٢- القصة القصيرة في إسبانيا	نخبة	ت: على إبراهيم على منوفي
٣٣٣- الإسلام في بريطانيا	نبيل مطر	ت: بكر عباس

٢٢٤- لقطات من المستقبل	آرثر س كلارك	ت مصطفى فهمي
٢٢٥- عصر الشك	ناتالي ساروت	ت فتحي العشري
٢٢٦- متون الأهرام	نصوص قديمة	ت حسن صابر
٢٢٧- فلسفة الولاء	جوزايا روبس	ت أحمد الأنصاري
٢٢٨- نظرات حائرة (قصص أخرى من الهد)	نخبة	ت جلال السعيد الحفناوي
٢٢٩- تاريخ الأدب في إيران ج٢	علي أصغر حكمت	ت محمد علاء الدين منصور
٢٤٠- اضطراب في الشرق الأوسط	بيرش بيربروجاو	ت فخرى لييب
٢٤١- قصائد من رلكه	راينر ماريا رلكه	ت حسن حامى
٢٤٢- سلامان وأبسال	نور الدين عبدالرحمن بن أحمد	ت عبد العزيز بقوش
٢٤٢- العالم البرجوازي الزائل	نادين جورديمر	ت سمير عبد ربه
٢٤٤- الموت في الشمس	بيتر بلانجوه	ت سمير عبد ربه
٢٤٥- الركض خلف الزمن	بونه نادني	ت يوسف عبد الفتاح فرج
٢٤٦- سحر مصر	رشاد رشدي	ت جمال الجزيري
٢٤٧- الصبية الطائشون	جان كوكتر	ت بكر الدلو
٢٤٨- المتصورة الأولون في الأدب التركي ج١	محمد فؤاد كوبرلي	ت عبدالله أحمد إبراهيم
٢٤٩- دليل القارئ إلى الثقافة الجادة	ارثر والدرون وآخرون	ت أحمد عمر شاهين
٢٥٠- بانوراما الحياة السياحية	أقلام مخافة	ت عطية شحاتة
٢٥١- مبادئ المنطق	جوزايا روبس	ت أحمد الأنصاري
٢٥٢- قصائد من كفافيس	قسطنطين كفافيس	ت نعيم عطية
٢٥٢- الفن الإسلامي في الأندلس (الزخرفة الهندسية)	باسيليو بابون مالدوناند	ت علي إبراهيم علي منوفى
٢٥٤- الفن الإسلامي في الأندلس (الزخرفة النباتية)	باسيليو بابون مالدوناند	ت علي إبراهيم علي منوفى
٢٥٥- التيارات السياسية في إيران	حجت مرتضى	ت محمود سلامة علاوى
٢٥٦- الميراث المر	بول سالم	ت بدر الرفاعى
٢٥٧- متون هيرميس	نصوص قديمة	ت عمر الفاروق عمر
٢٥٨- أمثال الهوسا العامة	نخبة	ت مصطفى حجازى السيد
٢٥٩- محاورات بارمنيدس	أفلاطون	ت حبيب الشارونى
٢٦٠- أنثروبولوجيا اللغة	أندريه جاكوب ونوبلا ياركمان	ت ليلى الشربيني
٢٦١- التصحر: التهديد والمجابهة	ألان جرينجر	ت عاطف ممتد وإمال شاور
٢٦٢- تلميذ بابنبرج	هاينرش شبورال	ت سيد أحمد فتح الله
٢٦٢- حركات التحرير الأفريقية	ريتشارد جيبسون	ت سمير محمد حسن
٢٦٤- حادثة شكسبير	إسماعيل سراج الدين	ت جلال أبو عجاج
٢٦٥- سنم باريس	شارل بودليير	ت محمد أحمد محمد
٢٦٦- نساء يركضن مع الذئاب	كلاريسا بنكولا	ت مصطفى محمود محمد
٢٦٧- القلم الجرى	نخبة	ت البراقى عبدالهادى رضا
٢٦٨- المصطلح السردى	جيرالد برنس	ت عاهد خزاندار
٢٦٩- المرأة في أدب نجيب محفوظ	فوزية العشماوى	ت فوزية العشماوى
٢٧٠- الفن والحياة في مصر الفرعونية	كليرلا لوبن	ت فاطمة عبدالله محمود
٢٧١- المتصورة الأولون في الأدب التركي ج٢	محمد فؤاد كوبرلي	ت عبدالله أحمد إبراهيم

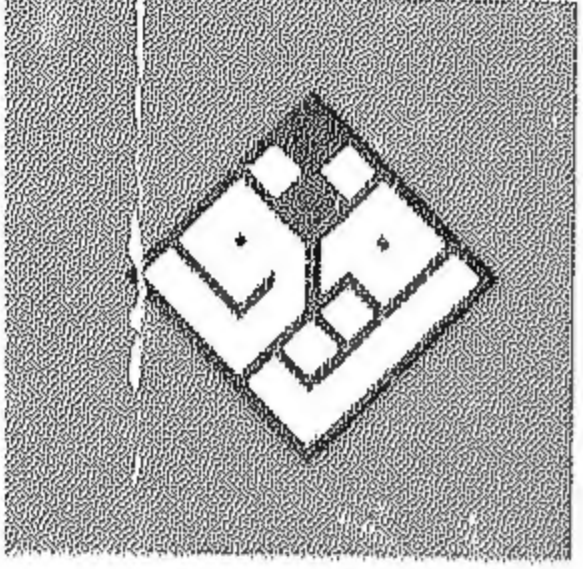
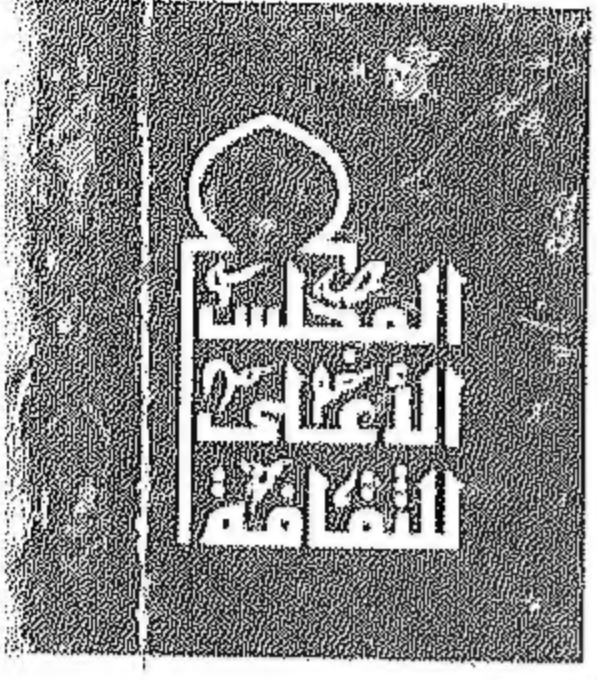
٢٧٢- عاش الشباب	وانغ مينغ	ت: وحيد السعيد عبدالحميد
٢٧٣- كيف تعد رسالة دكتوراه	أمبرتو إيكو	ت: علي إبراهيم علي متوفى
٢٧٤- اليوم السادس	أنثريه شديد	ت: حمادة إبراهيم
٢٧٥- الخلود	ميلان كونديرا	ت: خالد أبو اليزيد
٢٧٦- الغضب وأحلام السنين	نخبة	ت: إنبوار الخراط
٢٧٧- تاريخ الأدب في إيران ج٤	علي أصغر حكمت	ت: محمد علاء الدين منصور
٢٧٨- المسافر	محمد إقبال	ت: يوسف عبدالفتاح فرج
٢٧٩- ملك في الحديقة	سنيل بات	ت: جمال عبدالرحمن
٢٨٠- حديث عن الخسارة	جوتتر جراس	ت: شيرين عبدالسلام
٢٨١- أساسيات اللغة	ر. ل. تراسك	ت: رانيا إبراهيم يوسف
٢٨٢- تاريخ طبرستان	بهاء الدين محمد إسفنديار	ت: أحمد محمد نادی
٢٨٣- هدية الحجاز	محمد إقبال	ت: سمير عبدالحميد إبراهيم
٢٨٤- القصص التي يحكيها الأطفال	سوزان إنجيل	ت: إيزابيل كمال
٢٨٥- مشتري العشق	محمد علي بهزادراد	ت: يوسف عبدالفتاح فرج
٢٨٦- دفاعاً عن التاريخ الأدبي النسوي	جانيت تود	ت: ريهام حسين إبراهيم
٢٨٧- أغنيات وسوناتات	جون دن	ت: بهاء جاهين
٢٨٨- مواعظ سعدى الشيرازي	سعدى الشيرازي	ت: محمد علاء الدين منصور
٢٨٩- من الأدب الباكستاني المعاصر	نخبة	ت: سمير عبدالحميد إبراهيم
٢٩٠- الأرشيقات والمدن الكبرى	نخبة	ت: عثمان مصطفى عثمان
٢٩١- الحافلة اليلكية	مايف بينشي	ت: منى الدويبي
٢٩٢- مقامات ورسائل أندلسية	نخبة	ت: عبداللطيف عبداللطيم
٢٩٣- في قلب الشرق	ندوة لويس ماسينيون	ت: نخبة
٢٩٤- القوى الأربع الأساسية في الكون	بول ديفيز	ت: هاشم أحمد محمد
٢٩٥- الام سياوش	إسماعيل فصيح	ت: سليم حمدان
٢٩٦- السافاك	تقي نجاري راد	ت: محمود سلامة علاوي
٢٩٧- نيتشه	لورانس جين	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٢٩٨- سارتر	فيليب تودي	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٢٩٩- كامي	ديفيد ميروفتس	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٤٠٠- موهو	مسيانيل إنده	ت: باهر الجوفري
٤٠١- الرياضيات	زيادون ساردر	ت: معنوح عبد المنعم
٤٠٢- هوكنج	ج. ب. ماك ايغوي	ت: معنوح عبد المنعم
٤٠٣- ربة المنزل والملابس نصنع الناس	تودور شتورم	ت: عماد حسن بكر
٤٠٤- تعويذة الدسي	ديفيد إبرام	ت: ظبية خميس
٤٠٥- إيزابيل	أنثريه جيد	ت: حمادة إبراهيم
٤٠٦- المستعربون الإسبان في القرن ١٩	مانويلا مانتاناريس	ت: جمال أحمد عبد الرحمن
٤٠٧- الأدب الإسباني المعاصر بأقلام كتابه	أقلام مختلفة	ت: طلعت شاهين
٤٠٨- معجم تاريخ مصر	جوان فونشركنج	ت: عنان الشهاوي
٤٠٩- انتصار السمارة	برتراند راسل	ت: إلهامي عمارة

٤١٠- خلاصة القرن	كارل بوير	ت. الزواوى بغودة
٤١١- همس من الماضى	جينيفر أكرمان	ت: أحمد مستجير
٤١٢- تاريخ إسبانيا الإسلامية ج٢	ليفى بروفنسال	ت. نخبة
٤١٣- أغنيات المنفى	ناظم حكمت	ت. محمد البخارى
٤١٤- الجمهورية العالمية للآداب	بامسكال كازانوفا	ت: أمل الصبان
٤١٥- صورة كوكب	فريدريش نورنيمات	ت: أحمد كامل عبدالرحيم
٤١٦- مبادئ النقد الأدبى والعلم والشعر	أ. أ. رتشاريز	ت. مصطفى بدوى
٤١٧- تاريخ النقد الأدبى الحديث ج٥	رينيه ويليك	ت: مجاهد عبدالمنعم مجاهد
٤١٨- سياسات الزمر الحاكمة فى مصر العثمانية	جين هاثواى	ت: عبد الرحمن الشيخ
٤١٩- العصر الذهبى للإسكندرية	جون مايو	ت: نسيم مجلى
٤٢٠- مكرو ميجاس	فولتير	ت: الطيب بن رجب
٤٢١- الولاء والقيادة	روى متحدة	ت: أشرف محمد كيلانى
٤٢٢- رحلة لاستكشاف أفريقيا ج١	نخبة	ت: عبدالله عبدالرازق إبراهيم
٤٢٣- إجراءات الرجل الطيف	نخبة	ت: وحيد النقاش
٤٢٤- لوائح الحق ولوامع العشق	نور الدين عبدالرحمن الجامى	ت: محمد علاء الدين منصور
٤٢٥- من طاووس إلى فرح	محمود طلوعى	ت: محمود سلامة علاوى
٤٢٦- الخفافيش وقصص أخرى	نخبة	ت: محمد علاء الدين منصور وعبد الحفيظ يعقوب
٤٢٧- بانديراس الطاغية	باى إنكلان	ت: ثريا شلبى
٤٢٨- الخزنة الخفية	محمد هوتك	ت: محمد أمان صافى
٤٢٩- هيجل	ليود سبنسر وأندرجى كروز	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٠- كانط	كرستوفر وانت وأندرجى كليوفسكى	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٤٣١- فوكس	كريس هوروكس ونوران جفتيك	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٢- ماكيافللى	باتريك كيرى وأوسكار زاريت	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٣- جويس	بيفيد نوريس وكارل فلنت	ت: حمدي الجابرى
٤٣٤- الرومانسية	بونكان هيث وجوون بورهام	ت: عصام حجازى
٤٣٥- توجهات ما بعد الحداثة	نيكولاس زديرچ	ت: ناجى رشوان
٤٣٦- تاريخ الفلسفة (مج١)	فريدريك كويلستون	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٧- رحالة هندي فى بلاد الشرق	شبلى النعمانى	ت: جلال السعيد الحفناوى
٤٣٨- بطلات رضحايا	إيمان ضياء الدين بييرس	ت: عابدة سيف الدولة
٤٣٩- موت المراهب	صدر الدين عيسى	ت: محمد علاء الدين منصور وعبد الحفيظ يعقوب
٤٤٠- قواعد اللهجات العربية	كرستن بروسناد	ت: محمد الشرقةاوى
٤٤١- رب الأشياء الصغيرة	أروندهاى روى	ت: فخرى لبیب
٤٤٢- حتشبسوت (المرأة الفرعونية)	فوزية أسعد	ت: ماهر جويجاني
٤٤٣- اللغة العربية	كيس فرستينج	ت: محمد الشرقةاوى
٤٤٤- أمريكا اللاتينية: الثقافات القديمة	لوريت ميجورنه	ت: صالح علمانى
٤٤٥- حول وزن الشعر	پرویز ناتل خانلری	ت: محمد محمد يونس
٤٤٦- التحالف الأسود	الكسندر كوكيرن وجيفرى سانت كلير	ت: أحمد محمود
٤٤٧- نظرية الكم	ج. پ. ماك إيلوى	ت: معدوح عبدالمنعم

٤٤٨- علم نفس التطور	ديلان إيفانز - أوسكار زاريت	ت: ممدوح عبدالمنعم
٤٤٩- الحركة النسائية	مجموعة	ت: جمال الجزيري
٤٥٠- ما بعد الحركة النسائية	صوفيا فوكا - ربيكا رايت	ت: جمال الجزيري
٤٥١- الفلسفة الشرقية	ريتشارد أوزبورن - بورن فان لون	ت: إمام عبد الفتاح إمام
٤٥٢- لينين والثورة الروسية	ريتشارد إيجناتري - أوسكار زاريت	ت: محي الدين مزيد
٤٥٣- القاهرة: إقامة مدينة حديثة	جان لوك أرنو	ت: حليم طوسون وفؤاد الدهان
٤٥٤- خمسون عاماً من السينما الفرنسية	رينيه بريدال	ت: سوزان خليل
٤٥٥- تاريخ الفلسفة الحديثة (مج ٥)	فريدريك كويلستون	ت: محمود سيد أحمد
٤٥٦- لا تتسنى	مريم جعفرى	ت: هويدا عزت محمد
٤٥٧- النساء فى الفكر السياسى الغربى	سوزان موالر أوكين	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٤٥٨- الموريسكيون الأندلسيون	خوليو كارو باروخا	ت: جمال عبد الرحمن
٤٥٩- نحو مفهوم لاقتصاديات الموارد الطبيعية	توم تيتنبرج	ت: جلال البنا
٤٦٠- الفاشية والنازية	ستوارت هود- ليفزا جانستز	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٤٦١- لكان	داريان ليدر- جوى جروفز	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٤٦٢- طه حسين من الأزهر إلى السوريين	عبدالرشيد الصادق محمودى	ت: عبدالرشيد الصادق محمودى
٤٦٣- الدولة المارقة	ويليام بلوم	ت: كمال السيد
٤٦٤- ديمقراطية القلة	ميكايل بارنتى	ت: حمزة منيف
٤٦٥- قصص اليهود	لويس جنزيرج	ت: جمال الرفاعى
٤٦٦- حكايات حب ويطولات فرعونية	فيولين فانويك	ت: فاطمة محمود
٤٦٧- التفكير السياسى	ستيفين ديلى	ت: ربيع وهبة
٤٦٨- روح الفلسفة الحديثة	جوزايا روس	ت: أحمد الأنصارى
٤٦٩- جلال الملوك	نصوص حبشية قديمة	ت: مجدى عبدالرازق
٤٧٠- الأراضى والجودة البيئية	نخبة	ت: محمد السيد الننة

طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

رقم الإيداع ١٣٩٧٠ / ٢٠٠٢



SOILS AND ENVIRONMENTAL QUALITY

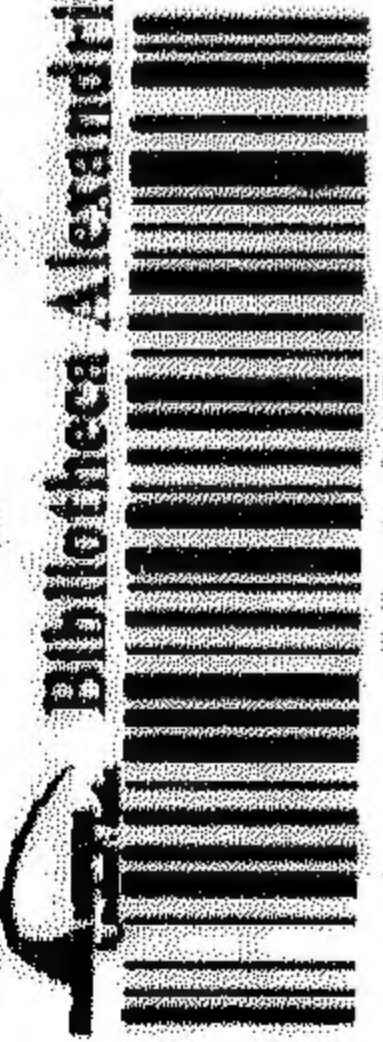
**Gary M. Pierzynski
J. Thomas Sims
George F. Vance**

تعتبر جودة البيئة التي نعيش فيها محصلة لكل من الظواهر الطبيعية ونشاط الإنسان، وتمثل الأراضي حلقة التداخل بين نشاط الإنسان ومكونات البيئة التي نرغب في الإبقاء أو المحافظة عليها، وعلى ذلك يعتبر فهم خواص الأراضي وتفاعلاتها مهماً في تقويم كيفية سلوك الملوثات العديدة والعناصر المغذية الضرورية في بيئة التربة، وتلعب الأراضي دوراً مهماً في ذلك التقويم، كما تلعب الأراضي أيضاً دوراً مهماً في تحديد جودة البيئة؛ حيث يمكن أن تكون مصدراً للعديد من الملوثات، أو بالوعة لها، أو وسطاً للتفاعل معها. وبالتالي فإن الإدارة السليمة للأراضي تمثل خطوة في المحافظة على جودة البيئة وتحسينها. ومن هنا كانت أهمية هذا الكتاب، كما يعد من أفضل المراجع - إن لم يكن أهمها - في مجال «الأراضي والجودة البيئية».

ويعطى الكتاب فكرة شاملة عن علم الأراضي، والهيدروولوجي، وكيمياء الغلاف الجوي، وتصنيف الملوثات. ويتبع ذلك مناقشات مستفيضة عن دور الأراضي في التدوير البيوجيوكيميائي للعناصر الكبرى والمركبات البيئية المعنية مثل: النتروجين، والفوسفور، والكبريت، والعناصر النادرة، والكيمائيات العضوية، وغازات الصوبة، كما يناقش أيضاً الترسيب الحامضي، ويذكر التفاعلات بين هذه الملوثات الخطيرة في كل من الأراضي، والبيئة المائية، والغلاف الجوي.

الغلاف
أمين الصيرفي

Bibliotheca Alexandrina



0453856